



TREBALL FINAL DE GRAU



ESCOLA
POLITÈCNICA SUPERIOR
UNIVERSITAT DE LLEIDA
INSPIRING THE FUTURE

Estudiant: Marc Coll Palacín

Titulació: Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

Títol de Treball Final de Grau: Disseny, integració i programació de pistoles *laser tag*

Director/a: Marcel Tresanchez Ribes

Presentació

Mes: Juliol

Any: 2021

Índex

0.	Abstracte.....	4
1.	Introducció.....	5
1.1.	Objectius.....	5
1.2.	Motivacions	6
1.3.	Metodologia	7
1.4.	Estat de l'art.....	8
2.	Definició	11
2.1.	Modalitats de joc	11
2.2.	Punt d'inflexió.....	13
3.	Fonaments de la comunicació amb infrarojos	14
3.1.	Funcionament.....	14
3.2.	Circuit de prova.....	15
4.	Hardware	18
4.1.	Components originals	18
4.2.	Modificacions.....	20
4.2.1.	Microcontrolador	21
4.2.2.	LED color d'equip	22
4.2.3.	Receptor d'infrarojos	22
4.2.4.	Mòdul de radio.....	23
4.2.5.	Buzzer.....	24
4.2.6.	Emissor d'infrarojos	25
4.2.7.	Motor vibrador.....	25
4.2.8.	Pantalla	26
4.3.	Disseny electrònic.....	27
4.3.1.	Alimentació	29
4.3.2.	Control	30
4.3.3.	Ports especials.....	30
4.3.4.	Entrades digitals.....	31
4.3.5.	So i vibració	31
4.3.6.	Pantalla	32
4.3.7.	Mòdul de ràdio.....	33
4.3.8.	Il·luminació.....	34
4.3.9.	Emissor IR.....	34
4.3.10.	Receptor IR.....	39
4.4.	Distribució de components.....	39
5.	Software.....	41
5.1.	Versió definitiva	41
5.1.1.	Fonaments	41
5.1.2.	Abans de la partida	41
5.1.3.	Durant partida.....	44

5.1.4.	Acabar la partida	46
5.1.5.	Blocs d'interrupció	47
5.2.	Versió actual	49
5.2.1.	Consigna	49
5.2.2.	Estructura.....	50
5.2.3.	Funcions especials.....	52
6.	Funcionalitats.....	56
6.1.	Mode de joc.....	56
6.2.	Rols i selecció	56
6.3.	Interacció amb l'usuari	58
6.4.	Pantalles	59
6.4.1.	Menú principal	59
6.4.2.	Selecció de rol	60
6.4.3.	Pantalla de mort.....	60
6.4.4.	Totes les interfícies	61
6.5.	Pròximes funcionalitats	62
6.5.1.	Objectes	63
6.5.2.	Accions	63
6.5.3.	Modes de joc.....	65
6.5.4.	Creació de partida.....	66
6.5.5.	Estadístiques	67
7.	Muntatge	68
7.1.	Preparació del material BOM	68
7.2.	Llista de connexions MCU.....	68
7.3.	Soldadura.....	68
7.4.	Posada en marxa.....	70
7.5.	Integració final	70
8.	Conclusions	72
9.	Bibliografia	73
10.	Annex.....	74
10.1.	MCU.....	74
10.2.	BOM.....	76
10.3.	Tones	77
10.4.	PCB.....	78
10.5.	Esquemàtics	79
10.6.	Marc de protecció.....	84
10.7.	Variables i funcions firmware	85
10.8.	Prototip amb Discovery	96
10.9.	Prototip amb Arduino	97
10.10.	Model final.....	98
10.11.	Esquemàtics originals.....	99

0. Abstracte

Resum del treball i temes relacionats.

Aquest projecte engloba tots els aspectes de producció d'un dispositiu electrònic, des del disseny i ideació de conceptes, fins a la programació i integració del firmware. En aquest cas es desenvolupen unes pistoles laser tag començant de zero i passant per totes les fases d'enginyeria necessàries, mitjançant un entorn de desenvolupament professional i enfocat al sector de la indústria. Es dissenya tota l'electrònica, els circuits i cablejat dels perifèrics, s'imprimeix i es solden els components a la PCB, es programa l'algorisme del dispositiu i les diferents llibreries, es dissenya la interfície d'usuari i finalment, s'integren tots aquests aspectes en el dispositiu final.

Per fer realitat aquesta proposta s'utilitzen mòduls de comunicació per infraroig i equips de ràdio, que són la base amb la qual funciona el firmware. L'objectiu principal és aprofitar el concepte d'unes pistoles laser tag de Nerf i millorar la seva proposta amb un dispositiu més complet, amb més funcionalitats i completament independent d'apps externes.

1. Introducció

Plantejament inicial i fulla de ruta del projecte, origen i objectius de la idea.

1.1. Objectius

L'objectiu del projecte és desenvolupar un sistema complet de lasertag que incorpori els elements necessaris, tant de hardware com de software, per recrear un ambient realista i competitiu durant la partida. Els tres objectius principals que pretén assolir el projecte són els següents:

- Compacte: sistema integrat amb emissor i receptor en el mateix dispositiu.
- Variat: entorn de joc dinàmic, diferents modalitats i personalització de l'arma i les seves característiques abans i durant la partida.
- Connectat: comunicació en temps real entre els diferents jugadors i les seves estadístiques sense l'ús de dispositius mòbils externs, senyals WiFi o Bluetooth.

Un factor molt determinant a l'hora de destacar un producte sobre la resta de competidors és que pugui mantenir la taxa de retenció en interès durant el temps i no sols durant els primers dies; molts sistemes de lasertag que es comercialitzen actualment o que ofereixen alguns establiments del sector tenen grans limitacions d'aquest tipus. Per una banda, les pistoles —normalment joguines, de poca resolució— que es venen a particulars són les que es basen únicament en la transmissió i recepció de tirs, no ofereixen cap mena de modalitat de joc ni varietats d'aquest estil. Això acaba resultant insuficient per retindre l'atenció del públic a qui va dirigit, que s'adona de la constant reiteració de la mecànica de joc i acaba desistint amb el temps de la pràctica del laserta. Per altra banda, tenim els locals que ofereixen un escenari ambientat i una tecnologia més avançada que sí que ofereix més possibilitats, però que de nou es queda curta pel que fa a diversitat i entre altres aspectes —com els sensors externs, la protecció adient i el desplaçament al local— fa que l'experiència sigui monòtona a mitjà termini.

És cert que en aquest darrer cas, l'activitat que proposen els establiments de lloguer està més enfocada a una sortida lúdica o una experiència, però que passaria si volguéssim dur aquesta modalitat al dia a dia? Es podrien ajuntar els fonaments dels dos sectors —particular i recreatiu— en un sol dispositiu? Per poder contestar a totes aquestes preguntes es proposa una ruta de treball basada en els tres objectius plantejats.

1.2. Motivacions

El projecte sorgeix de l'interès a millorar unes pistoles lasertag existents, que a diferència d'altres models no segueixen el patró de monotonia que s'ha exposat anteriorment. Aquestes pistoles —del fabricant de joguines Nerf— incorporen diferents característiques que les fan úniques i assoleixen força bé els tres objectius clars del projecte. Un dispositiu compacte amb receptor integrat que ofereix una varietat de joc bastant amplia i dóna l'opció d'establir una comunicació continuada entre pistoles durant la partida, de tal manera que funcions com: puntuació, temporització, equips, atacs especials o diferents modalitats són possibles.

Les pistoles lasertag de Nerf es diferencien de la resta de pistoles lasertag de joguina per la funcionalitat online que ofereix, mitjançant la comunicació directa de la pistola amb una app per dispositius mòbils, el sistema ofereix la creació de partides locals, on la resta de jugadors que vulguin competir juntament amb l'organitzador, s'hi poden unir i un cop dins del grup, les pistoles de cada jugador envien la informació necessària mitjançant l'Internet del smartphone al servidor del fabricant, qui s'ocupa de tractar les dades i retornar-les en temps reals durant la partida a la resta d'integrants del grup.

Aquest flux de treball és un avanç significatiu pel que fa a possibilitats, ja que tot i que tens l'opció de jugar offline —sense usar l'app— l'experiència de les partides en línia és molt més completa i dóna l'opció d'escollir modalitats de joc, concretament et permet jugar per equips o de forma individual així com variar el temps límit de les partides i mitjançant un sistema de recompenses, cada jugador rep una sèrie de punts basats en el seu rendiment després de la partida, aquests punts els pot bescanviar per millores que incrementen el poder d'un jugador durant la partida com, augmentar el dany dels seus trets, augmentar la seva salut màxima o reduir el temps de reparació després de morir.

A més a més, Nerf també ofereix sis atacs especials que poden seleccionar els jugadors abans d'iniciar una partida i beneficiar-se d'uns poders temporals cada un cert temps; per exemple tens l'opció de fer un tret molt poderós cada poc, l'opció de curar als teus companys d'equip, o la possibilitat d'infligir dany directe als jugadors rivals sense disparar-los, entre d'altres. Tots aquests complements que ofereixen les pistoles de Nerf, a diferència d'altres fabricants, aporten molt valor a l'experiència de joc fent de cada partida resulti en un escenari —virtual, perquè tot està basat en software— diferent i únic aprofitant les millors propostes tant del sector particular com del sector recreatiu.

Aquest treball engloba tota la memòria de la realització del projecte, que està basat en aquest l'equip de laser-tag de Nerf. S'aprofita l'estructura i molts components de hardware afegint un nou carregador a la part davantera i parant especial atenció en el controlador, que és substituït per una PCB de disseny propi, que incorpora tot el software necessari per dur l'experiència lasertag a un nivell pròxim al dels videojocs, sent la realitat l'escenari ideal per practicar-lo.

1.3. Metodologia

Per dur a terme aquest projecte es planteja un diagrama de Gantt amb les tasques principals i la previsió de temps que es preveu que ocupin. Els tres grans grups de feines que es proposen són: plantejament, hardware i software.



Figura 1. Programació de tasques

Cal comentar que el desenvolupament electrònic del dispositiu requereix haver adquirit els coneixements de les assignatures finals d'Integració de Sistemes, per tant no serà fins a finals d'abril quan realment es pugui tirar endavant la part d'implementació i programació.

1.4. Estat de l'art

Mostra i resum dels estudis i projectes més rellevants en l'àrea d'aplicació de tecnologies lasertag, basades en microcontroladors programables.

Decoding Nerf Laser Ops

Bone, M. (2018). DefProc. Recuperat el 2021, de <https://www.defproc.co.uk/analysis/decoding-nerf-laser-ops/>

Objectiu: estudiar el protocol de comunicació que utilitzen les pistoles Nerf Laser Ops per enviar i rebre informació durant una partida, mitjançant un emissor i un receptor d'infrarojos.

S'utilitza el model de pistola Alphapoint com a objecte d'estudi i una placa controladora Adafruit Circuit Playground, que incorpora un microprocessador ATmega32 programable i diferents elements de hardware, entre els quals hi ha un emissor i receptor IR. Mitjançant la llibreria IRLib2 per rebre, descodificar i enviar senyals d'infrarojos, s'analitza el senyal que es rep d'un emissor en funció de l'equip seleccionat.

La pistola deixa escollir tres colors d'equip, i analitzant els diferents inputs que rep el receptor del Adafruit Circuit Playground, es determina el codi hexadecimal (HEX) de cada senyal de tir. Aquesta està composta de diferents nombres que representen el temps en estat baix (blank) o en estat alt (mark) on, mitjançant l'ús d'un encapçalament i un acabament es pot segmentar els senyals bons provinents d'una altra pistola, amb les interferències produïdes per altres fonts d'infrarojos.

Resultats: les pistoles Nerf Laser Ops Alphapoint no utilitzen un protocol de comunicació propi per rebre i enviar dades mitjançant infrarojos. Els codis HEX que genera cada equip en disparar són: 0x67228B44 (lila), 0x78653B0E (roig) i 0x2FFEA610 (blau) segons el color de l'equip seleccionat.

Conclusions: és fàcil detectar el color d'equip que ha disparat, ja que mitjançant els codis HEX descodificats, podem interpretar que ens ha disparat un jugador d'un color o d'un altre. També es pot generar aquest senyal i simular un tir des de qualsevol dispositiu emissor.

Arduino Laser Tag - Duino Tag

Industries, J. (2010). *Instructables*. Recuperado el 2021, de <https://www.instructables.com/Duino-Tagger/>

Objectiu: construir un model funcional de pistola lasertag mitjançant Arduino Nano, que compta amb funcionalitats senzilles i enfocat principalment en desenvolupar el hardware.

Aquest projecte es centra en construir un sistema lasertag amb receptor extern i emissor en la mateixa arma, modificant una pistola de joguina amb llums.

Es comenten els principals components a utilitzar, especialment el transmissor d'infrarojos que està instal·lat dins un sistema d'amplificació amb transistors, s'utilitza també una lent focal per centrar el raig de llum de forma més direccional i augmentar l'abast dels senyals, al mateix temps que s'incrementa el realisme del joc.

En aquest projecte també s'utilitza un sistema de so senzill basat en un altaveu piezoelèctric per dinamitzar la partida, i que l'usuari pugui rebre feedback dels diferents esdeveniments. El corrent que circula pel díode de transmissió IR és de 300 mA utilitzant una font de 9V, per tant utilitzar una font inferior no proporcionaria suficient corrent per a la resta de LEDs i components.

L'autor proposa utilitzar un regulador de tensió capaç de subministrar corrents més elevades.

Resultats: s'ha pogut dissenyar un sistema complet de lasertag amb un cost total de 11 € més el preu del microcontrolador. Tot i que el software és molt bàsic i no permet emetre i rebre al mateix temps, a la pràctica no s'han apreciat impediments donada la gran velocitat de processament del microcontrolador i el ràpid transcurs del joc.

Conclusions: és convenient dur al límit el LED IR, ja que tot i que el corrent nominal dels transmissors és inferior a 300 mA, el fet d'estar en estat alt durant uns instants de temps molt petits, permet utilitzar corrents superiors a les establertes pel fabricant, augmentant així la potència d'emissió i en termes generals, l'abast de tir.

Arduino Lasertag Project

TimP196. (2018). *Instructables*. Recuperado el 2021, de <https://www.instructables.com/Arduino-Lasertag-Project/>

Objectiu: desenvolupar un sistema lasertag complet i compacte amb emissió i recepció d'infrarojos des de la mateixa pistola. Utilitza un Arduino Uno i incorpora una interfície d'usuari visual.

Es vol implementar un sistema bàsic de comunicació entre pistoles mitjançant leds infrarojos, amb codi simple; per aquest projecte l'autor implementa tot el hardware dins una pistola Nerf que dispara bales d'un material esponjós.

S'utilitzen transistors per amplificar el senyal de sortida, un petit altaveu piezoelèctric i un punter laser per incrementar el realisme. L'Arduino s'alimenta mitjançant una bateria portàtil i s'incorpora una pantalla monocromàtica OLED que mostra durant la partida: la vida, la munició restant i el número de jugador. En aquest cas no s'han utilitzat LEDs de colors donat que tota la informació la subministra la pantalla.

Resultats: s'obté un acabat molt cuidat amb una renovació de la pintura exterior de l'arma, la pantalla aporta un nou nivell de complexitat en software que val la pena, donat que millora molt la interacció de l'usuari amb la pistola.

Conclusions: aquest projecte no intenta fer una integració final del sistema, ja que la pistola incorpora tota la placa d'Arduino i tots els diferents components interactuen directament amb el controlador.

Tot i que només mostra tres dades, la interfície d'usuari millora l'experiència de joc notablement. S'utilitza una lent per focalitzar la llum de l'emissor i augmentar-ne l'abast i la precisió.

Open Laser Tag

Florian, F. B. (2019). *GitHub*. Recuperado el 2021, de <https://github.com/open-laser-tag/tagger>

Objectiu: implementar un joc lasertag complet, integrat en un controlador comercial **ESP-32, amb components econòmics i mitjançant díodes infrarojos. Compta amb el suport d'una app per ampliar les funcionalitats del sistema.**

Aquest projecte compta amb dos grans blocs a estudiar, per una banda tenim el hardware que es compon dels components justos i necessaris, la pistola interactua amb l'usuari mitjançant un led RGB que canvia de color i estat de forma dinàmica, per indicar diferents informacions.

Per altra banda, tenim el bloc del software que a més a més del mateix codi del programa bàsic —que s'implementa amb el IDE d'Arduino— i compta de forma complementària amb un aplicatiu Android que gestiona els jugadors de la partida i altres estadístiques. Es comunica amb les pistoles a través de Bluetooth i interactua de forma asíncrona amb un servidor basat en Node.js, que també incorpora l'informe de forma oberta.

Resultats: les pistoles perden moltes funcionalitats si les utilitzes de forma autònoma sense fer ús de l'app. El projecte no està pensat per ser implementat de forma comercial i està basat en els models de pistoles lasertag de Nerf, ja que compten amb el mateix protocol.

Conclusions: el resultat global del projecte és molt prometedor, però les limitacions de l'arma i l'aspecte molt simplificat de l'app deixen molt a desitjar. El projecte no està acabat, ja que probablement s'ha limitat a una versió bàsica, destinada a l'aprenentatge de tercers.

2. Definició

En que consisteix el lasertag i quines son les actuals possibilitats que ofereix.

El lasertag és un joc competitiu on els diferents jugadors poden formar equips amb la finalitat de complir una sèrie d'objectius —marcats pel mode de joc— i superar l'equip rival per guanyar la partida. Es tracta d'una modalitat que simula un enfrontament bèl·lic entre els diferents participants, que originalment servia com a entrenament militar però en l'actualitat, és un joc de nens i adults amb força popularitat als Estats Units, Austràlia i el nord d'Europa.

L'equip necessari per realitzar una partida de lasertag està format bàsicament per la pistola d'infrarojos, que pot incorporar un receptor o no incorporar-lo. En cas contrari, s'utilitza un receptor extern, que normalment és una armilla o un casc. A diferència d'altres modalitats com el paintball o el airsoft, el lasertag no dispara cap mena de material i per tant, no pot ocasionar lesions físiques als participants que no necessiten portar equips de protecció, a més a més la radiació que genera la llum infraroja és completament inofensiva, ja que té una longitud d'ona molt pròxima a l'espectre visible. Donat que els infrarojos són molt comuns i estan presents arreu de forma natural o artificial, jugar a l'exterior pot limitar la precisió i abast de tir de les pistoles, ja que s'ocasionen interferències, per aquest motiu el lasertag es juga normalment en espais interiors o amb poca il·luminació, que a més a més de millorar la qualitat de la partida i incrementar el realisme de l'arma, la foscor ressalta la il·luminació LED que acostumen a incorporar els disparadors.

2.1. Modalitats de joc

Les partides de lasertag es poden desenvolupar de diferents maneres i en funció de les modalitats de joc la varietat d'objectius enriqueix molt l'experiència de joc. Partint que les pistoles poden disparar i ser disparades, tenim un gran ventall de possibilitats pel que fa a regles de joc i participants. Una partida es pot dur a terme de forma individual o en equip, amb una única vida o infinites, amb puntuació o sense, etc. A continuació s'exposen diferents modalitats de joc i les seves particularitats, que varien bastant en funció de la capacitat tecnològica del sistema lasertag que s'utilitza:

- **Duel:** modalitat individual o amb equips que puntua cada cop que derrotem un integrant de l'equip contrari. És una partida temporitzada i amb vides il·limitades.
- **Eliminació:** modalitat individual, amb equips petits o amb equips grans que puntua cada cop que eliminem un altre jugador o sol en quedi un. Es juga a una vida i si t'eliminen, no pots reaparèixer.

- Dominació: es col·loquen un o més punts de conquesta al terreny de joc on cada equip s'hi haurà de situar durant un curt interval de temps i defensar la posició. L'equip contrari pot reconquistar el punt seguint el mateix procediment. La puntuació puja quan un equip manté un punt controlat i es guanya la partida en assolir una puntuació determinada.
- Capturar la bandera: els dos equips han d'aconseguir endur-se la bandera de la base contrària a la base del seu equip. Les vides són il·limitades i es reapareix a la base del teu equip.
- Patrulla d'escorta: un equip ha de defensar un dels seus integrants, que serà el VIP —la persona a escortar— mentre l'altre equip té un cert temps per abatrel. Vides il·limitades per tots els jugadors menys l'escortat.
- Assalt: cada equip ha d'abatre la base rival. Aquesta té un receptor que actua com un jugador immòbil que no dispara i té molta vida. Es juga amb vides il·limitades i amb reaparició a les bases corresponents.
- Tots contra un: de forma aleatòria s'escull un jugador al qui se li assigna unes característiques concretes, entre d'altres, més resistència —més vida—. Tots els altres participants guanyaran punts en disparar-lo i qui el derrota, passarà a ser el jugador solitari, que guanya punts aguantant el màxim temps viu. Partida temporitzada i amb reaparicions il·limitades.
- Evacuació: un dels equips té vides il·limitades i pot reaparèixer mentre l'altre conjunt de participants, juga amb una sola vida i té l'objectiu de defensar una posició durant el màxim temps possible. Es repeteix el joc, però amb canvi de rols i guanya l'equip amb el millor temps.

Totes aquestes possibles modes de joc tenen unes determinades variables que els poden modificar i donar noves possibilitats, per reduir o augmentar les restriccions de cadascun. Es pot variar el temps de joc, les vides, la forma de puntuar, el nombre d'equips, d'integrants, de resistència, etc. Tots aquests factors fan molt interessant el lasertag, ja que el ventall de possibilitats és molt gran i el fet de ser un sistema 100% electrònic, facilita la modificació de paràmetres de joc que es poden fer quasi sota demanda.

A més a més de les mateixes modalitats, existeixen altres factors que poden enriquir bastant el joc; aquests es basen en les característiques de l'arma i el personatge que adopten els jugadors durant la partida, així doncs, es pot donar l'opció d'escollir unes funcions determinades abans de cada joc amb una salut i dany concrets —per exemple

—de tal manera que de forma equilibrada, es puguin establir rols diferents amb característiques específiques a gust de cada participant.

2.2. Punt d'inflexió

Normalment els establiments d'experiències lasertag sota demanda, no ofereixen —ni molt menys— totes les possibilitats de personalització esmentades, sinó que es limiten a sistemes que suporten dues o tres modalitats de joc, i totes les armes tenen les mateixes característiques. El punt fort d'aquests locals és el terreny on es practica el joc, són espais indoor —interiors— amb obstacles inflables, de fusta o derivats dels pneumàtics, que ofereixen una ambientació força futurista, sense deixar de banda les arrels de campament militar. La il·luminació LED i la indumentària cablejada dels participants són un dels punts més distintius d'aquesta branca del lasertag, que també pot practicar-se en espais outdoor —exteriors— on la presència d'elements decoratius disminueix, i s'aprofita un l'entorn natural on els arbres i petits edificis de camp ofereixen una experiència més realista. El preu per partida és situa en termes generals al voltant dels 7 € per participant

Un altre sector que treballa el món del lasertag són les pistoles o equips integrats, amb tots els components necessaris per a particulars. En aquest camp trobem des de dispositius molt preparats a simples joguines que fan la funció, on normalment ambdós conceptes poden portar un receptor extern o integrat a la pistola. El preu de cada dispositiu és d'aproximadament 30 € per jugador, que tot i no ser un equip professional, els resultats que aquests ofereixen són més que satisfactoris i les mateixes limitacions dels infraroigs, ajuden a detectar un tret fins i tot quan el jugador està d'esquena al focus emissor, fet que justifica l'ús del receptor integrat en l'arma i la comoditat que ofereix un equip compacte sense elements externs.

La pistola que es modificarà per la realització d'aquest treball, la podem trobar en el sector de les joguines i ús particular, concretament de la casa Hasbro el model de Nerf Laser Ops: Alphapoint.

3. Fonaments de la comunicació amb infrarojos

Marc teòric de la comunicació IR i la implementació en Arduino d'un sistema de transmissió i recepció bàsic.

3.1. Funcionament

Per poder desenvolupar un sistema de comunicació sense cables, senzill i econòmic, un dels recursos més adequats per dur-ho a terme és mitjançant díodes infrarojos, concretament utilitzant-hi un que actuï com emissor i un altre que actuï com a receptor. Aquests dispositius operen en un determinat rang de freqüències —no visibles— d'uns 900 nm de longitud d'ona, característica que ha de ser repetida en ambdós terminals per poder emetre i rebre informació correctament.

Per transmetre informació, l'emissor emet un senyal modulada a 38 kHz —que és la freqüència de modulació que s'utilitza normalment— de tal manera que pot engegar-se i apagar-se trenta-vuit mil cops per segon. Un circuit electrònic complementari que incorpora un microcontrolador, és l'encarregat de codificar la informació en forma binària i posteriorment, enviar-la amb l'emissor. El procés d'enviament es basa en generar un seguit de ràfegues on el díode s'encén i s'apaga a la freqüència de modulació corresponent i segons el temps que duri aquesta ràfega, es pot interpretar el valor 1 o el valor 0, sent normalment el temps de rafega equivalent a 1 superior al temps equivalent a 0, per exemple 1200us pel valor binari 1 i 600us pel 0.

Pel que fa al receptor, aquest està compost principalment d'un fotodíode que detecta les emissions d'infrarojos d'una determinada longitud d'ona —la mateixa que la del receptor— i interpreta les ràfegues de l'emissor en 1 o 0 segons el protocol de codificació escollit, donant com a sortida un senyal digital binària que representarà les dades que haguem enviat.

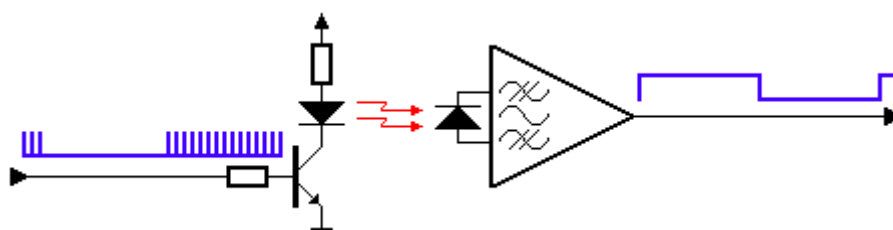


Figura 2. Comunicació IR

En la imatge superior es pot veure com s'interpreten les ràfegues de l'emissor, que són els estats del díode —ON o OFF— s'interpreten segons el protocol, pel fotodíode com un senyal binari que representa la informació que volem transmetre. Aquests protocols són estàndards que utilitzen els fabricants per definir el temps que representaran cada valor binari i ser interpretats convenientment. Protocols com NEC, Sony SIRC, Philips RC5, Philips RC6,

Panasonic, JVC, DISH... són els que podem trobar implementat en els dispositius electrònics quotidians com comandaments de televisions, joguines o portes de garatge.

Els elements de hardware que componen el sistema de transmissió, incorporen els díodes necessaris per emetre i rebre els senyals, entre altres components electrònics que regulen el corrent, l'alimentació i asseguruen un funcionament òptim, però, bàsicament amb un díode emissor IR i un receptor podem compondre un sistema funcional. A continuació podem veure els punts de connexió d'aquests components:

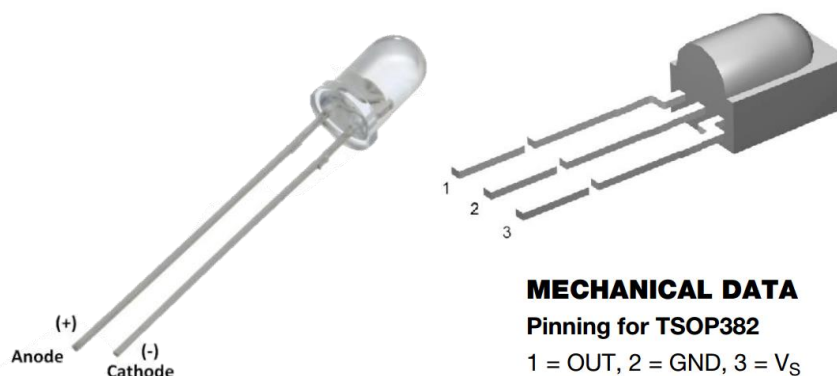


Figura 3. Emissor IR

Com es pot veure a la imatge superior, el díode emissor sol consta de dues potes, ja que la seva única funció és engegar-se i apagar-se, rebent o deixant de rebre alimentació en funció del criteri de disseny que controla el microcontrolador. En canvi el díode receptor consta de dues potes d'alimentació i una tercera pota d'on s'obté el senyal descodificat amb valors binaris que representa la informació processada.

3.2. Circuit de prova

Per poder verificar el correcte funcionament del sistema en què es basarà tota l'estructura del lasertag, s'ha dissenyat un circuit bàsic governat per un controlador Arduino Uno que simula el comportament d'una pistola lasertag. L'objectiu és integrar l'emissor i el receptor en un mateix esquema, i que l'Arduino pugui enviar i rebre informació seguint el mateix algorisme, de tal manera que mitjançant un emissor i un receptor extern es comprovi el funcionament del prototip. Molts dels exemples que es poden trobar online es basen en l'emissió o recepció amb dispositius separats —és a dir dos microcontroladors— o directament l'ús de dos programes diferents per executar cada tasca, aquests exemples no serveixen per al sistema que volem desenvolupar, ja que les pistoles lasertag, han de ser capaces de rebre i emetre informació de forma asíncrona i evidentment, sota el mateix algorisme.

Després de fer les pertinents experimentacions amb scripts públics i els components per separat —un programa per l'emissió, i un programa diferent per la recepció— s'ha aconseguit el resultat esperat. Utilitzant una llibreria pública per controlar els protocols IR nomenada *IRremote.h*, es pot obtenir l'emissió i recepció simultània reactivant el receptor després d'usar la funció per enviar:

```
IrReceiver.begin(RECV_PIN, ENABLE_LED_FEEDBACK);
```

També s'ha utilitzat un temporitzador —utilitzant la llibreria *Thread.h* —per cridar diferents funcions cada un cert temps, d'aquesta manera podem rebre o enviar informació de forma controlada i sense superposar-se, ja que la llibreria no ho permet però, donat que les temporitzacions són molt curtes, durant el transcurs d'una partida real no s'aprecia aquest factor i es pot disparar i ser disparat pràcticament al mateix instant.

A continuació es pot veure una representació del diagrama electrònic en que es basa el prototip proposat que funciona amb el programa elaborat:

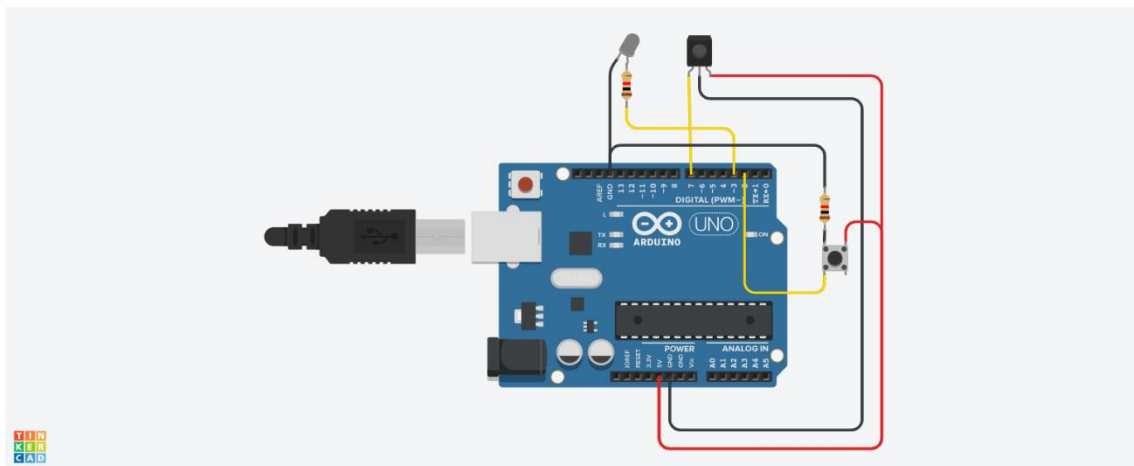


Figura 4. Diagrama amb Arduino

Després de verificar el correcte funcionament del codi amb el hardware bàsic, es substitueixen els díodes d'emissió i recepció pels dispositius que integra la pistola Nerf real. Per una banda tenim un díode d'infrarojos muntat dins un con amb una lent focal, que centra el feix de llum a fi que sigui menys difús, aquest element té dues potes tal com teníem previst, tot i que posteriorment caldrà connectar-lo a un circuit amb transistors per variar el corrent que hi circula, amb l'objectiu de controlar l'abast de tir.

Per altra banda tenim un receptor més complex del que havíem vist; es tracta d'un component basat en una PCB que integra tres fotodíodes i dos leds vermells, que s'il·luminen per indicar que el jugador ha sigut disparat. Aquest integrat compta amb sis connexions no marcades, que de primeres no es pot saber que representen. Amb una

mica de recerca s'obtenen els plànols electrònics oficials del fabricant (mirar Annex) on es defineix el significat d'aquestes potes:

- SW101-2/ SW101-3: si estan curtcircuitades s'activa el mode *indoor* sinó, s'activa el mode *outdoor*.
- VSW: alimentació de 3,3V.
- Dome IR RX: sortida del receptor.
- Hit Lamp: entrada dels leds d'impacte.
- GND: terra.



Figura 5. Mòdul IR TX



Figura 6. Mòdul IR RX

Finalment es substitueixen els díodes del prototip pels nous components i es comprova que el funcionament es manté i funciona correctament:

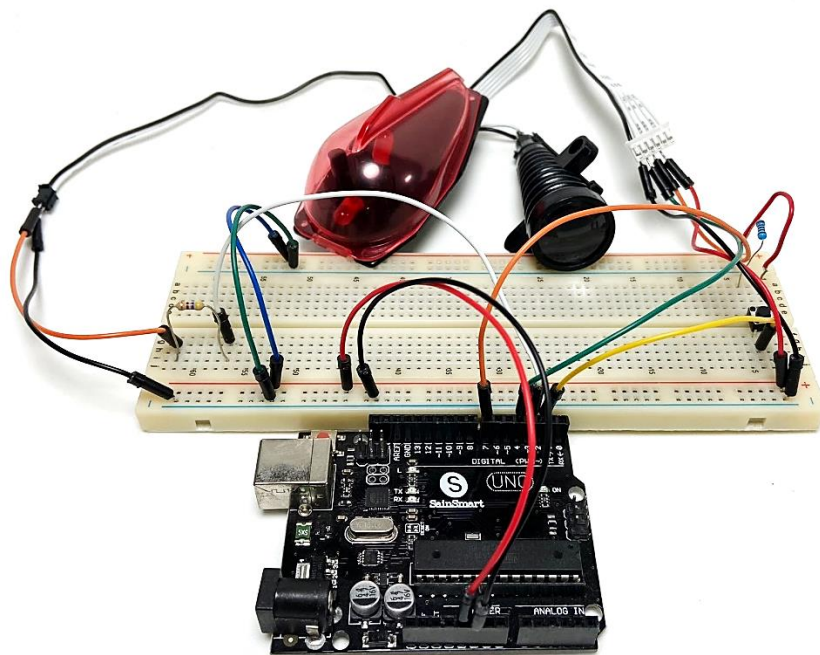


Figura 7. Prototip amb Arduino

4. Hardware

Estructura, composició y elements electrònics utilitzats pel desenvolupament de les pistoles.

4.1. Components originals

Per començar aquest apartat i poder desenvolupar un pla de modificació i millora de les pistoles Nerf originals, el primer pas és comprovar l'estructura interna que porten de fàbrica, desmuntant la carcassa exterior i descaragolant tots els caragols que la subjecten. Abans, però ja es poden deduir alguns elements necessaris per al funcionament bàsic del lasertag que es reaprofiten directament, com mecanismes, components electrònics i estructures de plàstic que faciliten la correcta distribució del cablejat intern. En la següent imatge es pot observar detalladament com es compon per dins la pistola, així com els elements claus pel desenvolupament del projecte:

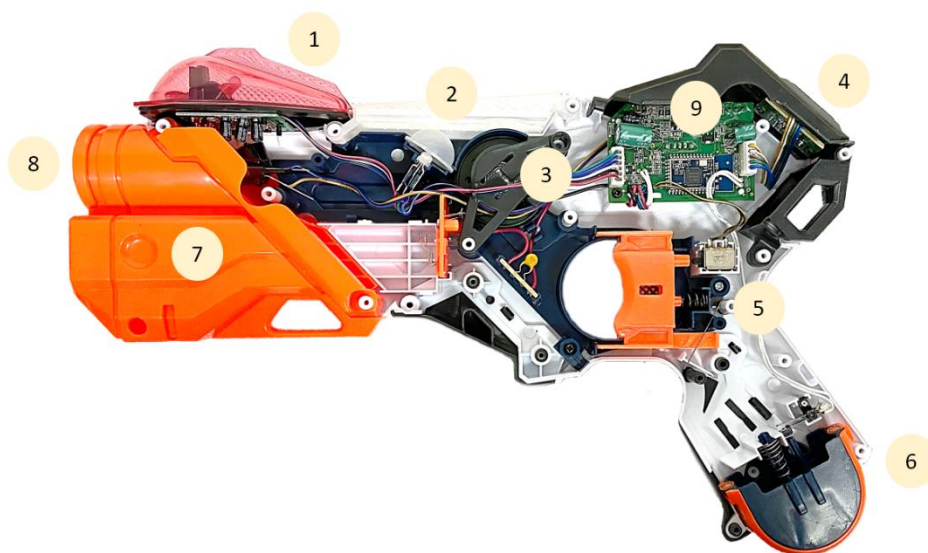


Figura 8. Components originals

- | | | |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1) Receptor IR | 2) Color d'equip | 3) Altaveu |
| 4) Vida i munició | 5) Mecanisme per disparar | 6) Mecanisme per recarregar |
| 7) Compartiment d'alimentació | 8) Emissor IR | |

Llista de components originals:

Receptor infraroig: aquest component original s'aprofitarà sense alteracions, ja que és ideal per establir un sistema de recepció òptim que aprofita els tres fotodíodes incorporats, situats estratègicament per cobrir un angle frontal de 240°. A més a més

disposa de dos leds vermells que s'il·luminen quan el jugador és disparat. La càpsula vermella que protegeix els sensors, filtra les emissions externes per evitar interferències.

Color d'equip: un LED RGB està acoblat a una cúpula refractiva que il·lumina la pistola amb el color de l'equip del jugador.

Altaveu: permet reproduir sons i melodies preestablertes de fitxers d'àudio. Pel que fa al nostre projecte, aquest element serà substituït per un buzzer comú.

Vida i munició: dos leds que s'encarreguen de mostrar al jugador la seva vida restant i la munició, s'il·luminen i parpellegen de forma orientativa. Des de fora es pot veure el símbol del qual representen, on sota queden els leds corresponents.

Mecanisme per disparar: el gallet de l'arma es pot retraure manualment per activar, mitjançant un polsador, l'acció de disparar. El mateix gallet torna al seu estat de repòs mitjançant una molla integrada.

Mecanisme per recarregar: utilitza la mateixa lògica que el gallet i envia un senyal digital al microcontrolador quan es prem. Tota la munició es restableix al màxim després d'accionar aquest botó situat a la part inferior de l'arma.

Compartiment d'alimentació: espai rectangular que guarda un caixetí corredís on es col·loquen quatre piles AA per alimentar els components de la pistola.

Emissor infraroig: s'aprofita tot el component tal com ve de fàbrica. Aquest incorpora un díode infraroig situat dins un con hermètic i fosc tapat per una lent focal.

PCB: és el component principal del dispositiu que incorpora el microcontrolador i els components bàsics de funcionament que s'ha dissenyat pel fabricant especialment per les pistoles originals, per tant en aquest cas, aquest element es fabricarà de zero per funcionar amb les noves característiques i funcions del nou dispositiu i com a tal, no es pot reaprofitar l'original. El component original consta d'uns interruptors integrats que no necessitem així com un mòdul Bluetooth que no farem servir.

De forma resumida, són molts els components originals que es poden reaprofitar i en els que és reenfoquen les seves característiques per satisfer les noves funcions que tindrà la pistola, aquest són:

- Estructura
- Receptor d'infrarojos
- Emissor d'infrarojos i lent
- Entrades
- Llums

Cal destacar la utilitat de treballar sobre una estructura específica ja muntada, un disseny molt atractiu tant per fora com per dins, que incorpora diferents separadors i forats per organitzar els cables correctament, treballant sobre una superfície neta i ordenada.

4.2. Modificacions

Per poder complir els requisits del projecte, s'han substituït alguns components originals de la pistola i afegir-ne d'altres de nous. En el següent diagrama es resumeix la composició del nou dispositiu agregant els diferents perifèrics importants que fan falta. Seguidament es detallen les característiques i fitxes tècniques d'aquests nous elements:

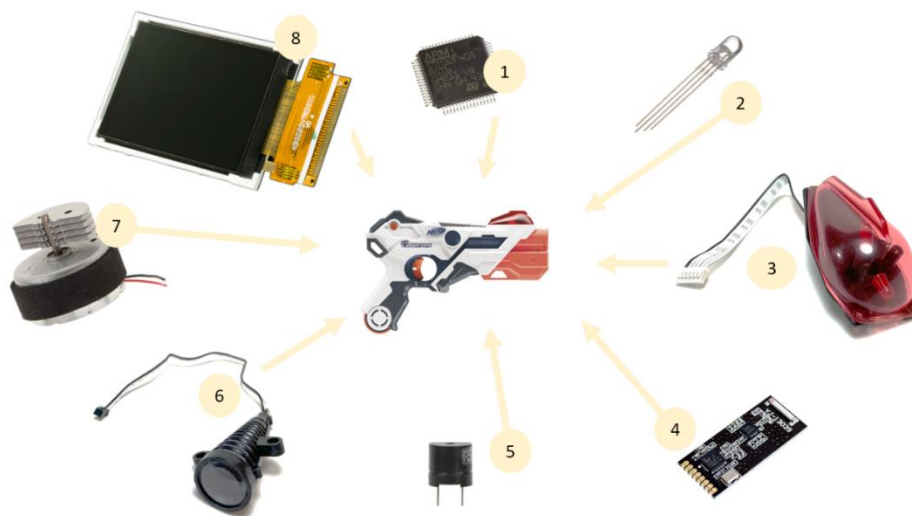


Figura 9. Modificacions

- | | | |
|---------------------|-------------|----------------|
| 1) Microcontrolador | 2) LED RGB | 3) Receptor IR |
| 4) Mòdul de ràdio | 5) Altaveu | 6) Emissor IR |
| 7) Vibrador | 8) Pantalla | |

4.2.1. Microcontrolador

La placa original de les pistoles Nerf portava instal·lat un controlador protegit amb una pel·lícula de resina epòxid que protegeix els pins dels components, que esta encastada directament sobre la PCB. Aquest procés d'integració s'anomena *chip on board* (COB) i a part de protegir les connexions, dificulta la tasca de reconeixement dels components i el seu model, ja que la resina és negra i no es pot treure sense fer malbé el xip, d'aquesta manera també eviten les males pràctiques de tercers com l'enginyeria inversa. Per aquest treball, es renova tota la placa i s'utilitza un microcontrolador amb estructura ARM per governar el nou sistema de la pistola. Concretament es fa servir el model STM32F405RGT6 del fabricant STMicroelectronics que és de la mateixa sèrie que el que hem fet anar durant l'assignatura d'integració de sistemes.

Nom	STM32F405RGT6
Fabricant	STMicroelectronics
Descripció	Muntatge: SMD/SMT
	Empaquetat: LQFP-64
	Mida de memòria del programa: 1 MB
	Ample de bus de dades: 32 bit
	Resolució de ADC: 12 bit
	Freqüència màxima de rellotge: 168 MHz
	Número de I/Os: 51 I/O
	Connexions: 64 pins
	Mida de dades RAM: 192 kB
	Resolució de DAC: 12 bit
Tensió	1.8 V to 3.6 V
Consum	Corrent nominal mitja (50MHz): 20mA
Dimensions	22.6x22.6mm
Preu	9.49€/u
Font	https://es.rs-online.com/web/p/microcontroladores/7468217/

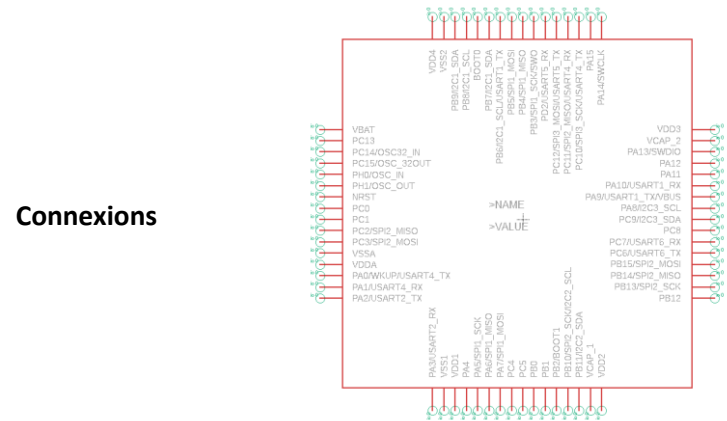


Figura 10. Especificacions MCU

4.2.2. LED color d'equip

En un principi les pistoles estaven preparades per suportar tres equips, aquests estaven representats pels colors vermell, blau i lila. Amb aquesta configuració el LED *green* es redundant i per tant, el model original tenia un LED RB. S'ha substituït aquests component per un LED RGB que ofereix una gama cromàtica molt més completa i amb possibilitat de realitzar moltes combinacions.

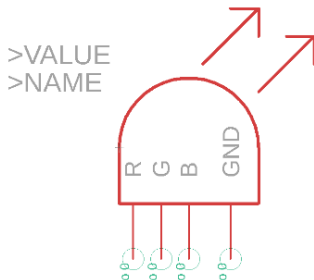
Nom	LED RGB
Fabricant	Ilitek
Descripció	Tipus díode: RGB d'ànode comú Color de la lent: transparent Nombre de pins: 4 pins. Angle de visió: 25 °. Vida del díode: 20.000 hores. Temperatura de funcionament: -25°C / 80°C.
Tensió	1,8-2v (Vermell) i 3-3,4v (Verd i Blau).
Consum	60mA (20mA per cada color)
Dimensions	5 mm
Preu	0.13€/u
Font	https://www.ebay.es/itm/221641656373?hash=item339adf4835
Connexions	

Figura 11. Especificacions LED RGB

4.2.3. Receptor d'infrarojos

Es col·loca estratègicament a la part superior de l'arma i s'utilitza com a receptor de senyals exteriors, que en aquest cas seran senyals infrarojos. Dins de la càpsula hi ha tres fotoreceptors que reaccionen a les ones d'espectre infraroig i generen una seqüència analògica resultant. Aquest senyal es tracta amb el convertidor digital al controlador i obtenint finalment, una cadena binària que representarà una ordre concreta.

A més a més aquest element original incorpora dos díodes LED que es poden controlar de forma independent i s'utilitzaran per indicar que un jugador ha estat tocat per un

jugador rival. Pel que fa a les connexions, aquest perifèric consta de sis pins diferents que es detallen seguidament.

Nom	Receptor IR
Fabricant	Nerf
Descripció	Inclou una PCB pròpia amb totes les connexions bàsiques pels diferents components que incorpora: díodes fotosensibles i LEDS.
Encapsulat	Cúpula amb filtre.
Tensió	2.8V - 5 V
Dimensions	40x50x10mm

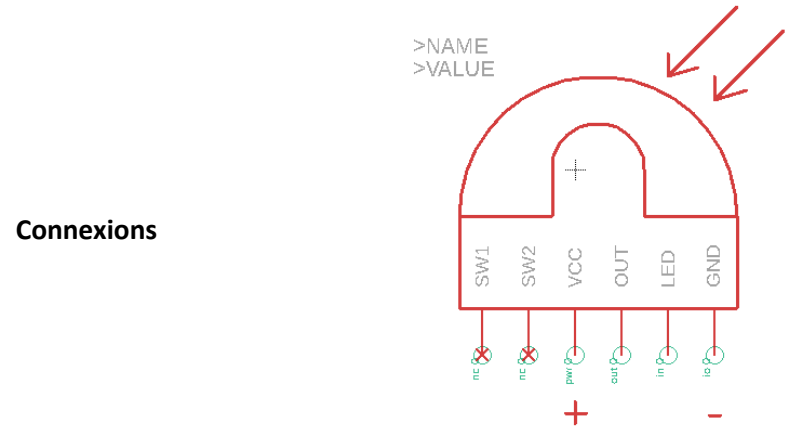


Figura 12. Especificacions IR RX

4.2.4. Mòdul de radio

Recordem que un dels objectius del nou sistema és mantenir una comunicació directa entre jugadors, per fer un seguiment en temps real dels resultats de la partida sense utilitzar dispositius mòbils. Per tal de dur a terme aquest propòsit, es considera la transmissió de dades a través d'ones de ràdio a 2.4 GHz una bona opció, ja que mitjançant aquest mòdul es pot mantenir la partida sincronitzada dins un diàmetre raonable, sense fer ús de connexió a Internet i a més, són fàcils d'implementar en un circuit integrat. Concretament s'utilitzarà un mòdul NRF24L01+PA+LNA per pistola amb les següents característiques.

Nom	NRF24L01+PA+LNA
Fabricant	Nordic
Descripció	Freqüència: 2.4 GHz Comunicació multipunt i salt de freqüència Flux de dades: 250 kbps, 1 Mbps, 2 Mbps

	Antena ceràmica
	Protocol SPI
Tensió	2.2 - 3.6V
	Màxim: 115mA
Consum	Nominal: 14mA
	Mode pausat: 32uA
	Mode estalvi: 1uA
Dimensions	26.8 x 12 mm
Preu	5€/u
Font	https://fe9d75fe64.nxcli.net/product/nrf24l01-2-4ghz-wireless-transceiver-module-with-pa-smd/

Connexions



Figura 13. Especificacions mòdul RF

4.2.5. Buzzer

Com hem pogut veure anteriorment, les pistoles originals disposen d'altaveus que reproduïen pistes de so enregistrades. Pel que fa a les modificacions previstes, es poden excloure els altaveus originals i utilitzar en el seu lloc, un simple *zumbador* piezoelèctric que reproduïx sons més senzills a partir del codi, sense la necessitat d'ocupar espai en la memòria i facilitant la integració a la PCB nova.

Nom	PCB Mount Buzzer 80dB
Fabricant	RS
Descripció	Tipus passiu Rang de freqüència de 2 – 5 kHz
Tensió	1V - 3V
Consum	15mA
Dimensions	PCB: 12 x 8.5 mm
Preu	1.51€/u
Font	https://cl.rsdelivers.com/es/product/rs-pro/rs-pro-3v-ac-pcb-mount-buzzer-80db/1710869

Connexions

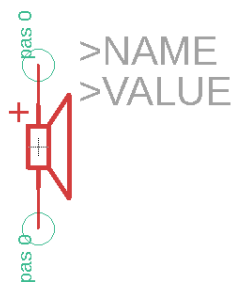


Figura 14. Especificacions buzzer

4.2.6. Emissor d'infrarojos

Situat a la part davantera de la pistola, aquest sensor com ja s'ha comentat anteriorment, consta d'un díode emissor al seu interior que genera senyals infrarojos i de la seqüència digital que rep directament del controlador. Aquest mòdul ja ve muntat amb el dispositiu original i s'aprofita íntegrament pel desenvolupament del projecte final, consta d'una connexió d'alimentació i un terra. A més a més la lent que incorpora el mòdul ajuda a centrar l'emissió i augmentar-ne l'abast, al mateix temps que la càpsula negra ajuda a reduir la pèrdua de qualitat de senyal.

Nom	Emissor IR
Fabricant	Nerf
Encapsulat	Con opac amb retícula focal. No es pot desmuntar.
Tensió	2.8V - 5 V
Consum	Regulat entre 250 i 650 mA
Dimensions	40x50x10mm
	>NAME >VALUE
Connexions	

Figura 15. Especificacions IR TX

4.2.7. Motor vibrador

Per dinamitzar l'experiència de joc s'inclou un petit motor que fa vibrà l'arma quan es dispara. Aquest component és simplement un actuador que té una massa descentrada en el seu eix de rotació, el que transforma el moviment giratori en vibracions.

Nom	Vibrador Dualshock 3
Fabricant	OCCAME
Descripció	Resistència d'aïllament: 10 MΩ Revolucions per minut (RPM): 9000 rpm Originals de comandaments Sony PS
Tensió	3 V - 5.3 V
Consum	Corrent nominal: màx. 60 mA Corrent d'arrancada: màx. 90 mA
Dimensions	Ø1.5 cm
Preu	0.86 €/u
Font	https://es.aliexpress.com/item/32972106938.html

Connexions

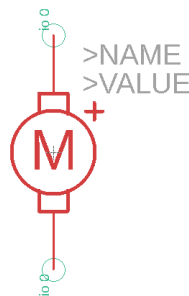


Figura 16. Especificacions vibració

4.2.8. Pantalla

Aquest nou element tampoc es trobava disponible en les pistoles originals ni en cap altre sistema laser-tag ordinari. La pantalla anirà encastada al lateral esquerra de la pistola i mostrarà informació de la partida com la puntuació, el temps restant i diferents dades sobre el mateix jugador. S'utilitza una pantalla LCD TFT tàctil de 2'2 polzades amb una resolució de 240 per 320 píxels que té com a protocol de comunicació per defecte el SPI.

Nom	Display LCD TFT 2.2" RGB SPI 240x320
Fabricant	SHANGHAI TIANMA MICRO-ELECTRONICS
Descripció	Controlador gràfic ILI9341 Resolució de 240x320 píxels 2.2" Protocol SPI Fins 262.144 colors RGB
Tensió	3.3 - 5V
Consum	Controlador 10mA Llum de fons 50mA

Dimensions	Mida de la pantalla (diagonal): 55.88 mm Dimensions pantalla: 34x46 (àrea visible) Dimensions placa: 40x55 mm
Preu	10€/u
Font	https://es.aliexpress.com/item/32250619869.html
Connexions	

Figura 17. Especificacions pantalla

4.3. Disseny electrònic

Després d'analitzar les pistoles originals i definir els nous components i modificacions pel projecte, s'ha dissenyat el nou esquemàtic i la nova placa PCB amb els components integrats utilitzant el programa *Eagle* d'*Autodesk*¹. Donat que s'utilitza la mateixa carcassa per desenvolupar el nou dispositiu, és important que les dimensions de la PCB permetin un correcte assemblatge aprofitant els forats per caragolar originals, d'aquesta manera s'ha acotat el nou disseny partint de la placa original i situant al mateix punt, els tres orificis de fixació permetran fixar la placa al lloc més adient i repartir els cables dels perifèrics de forma ordenada. A més a més, situar la PCB a la posició de fàbrica permet utilitzar la cara superior d'aquesta per enganxar exclusivament la pantalla, de tal manera que aquesta queda més assegurada i utilitzant un marc imprès en 3D, queda lleugerament enfonsada en la part lateral de l'arma, el que protegeix el perifèric de ratllades o cops de l'exterior.

Per altra banda també s'han respectat les posicions de dos components integrats a la placa original: el polsador ON/OFF i el selector de llum. Aquest criteri el justifica el mateix disseny del dispositiu, el qual consta de dos orificis a la cara exterior dreta per on es fa ús d'aquests dos components, que van soldats per l'interior directament a la PCB mitjançant un adaptador de plàstic, que permeten aquesta interacció externa de l'usuari amb el polsador i el seleccionador. Per tant, aprofitant aquestes peces que ja estan fetes i no deixar dos forats en l'aire, s'ha integrat a la nova placa aquests dos components en la mateixa posició, la qual cosa permet col·locar els adaptadors i utilitzar els botons per engegar i parar la pistola per una banda, i augmentar o reduir la llum de la pantalla per

¹ EAGLE (Easily Applicable Graphical Layout Editor) és un programa per dissenyar i editar esquemàtics i plaques de circuit imprès PCB (Printed Circuit Board).

l'altra. A continuació es mostren les diferents cares de la PCB i els seus models en tres dimensions:

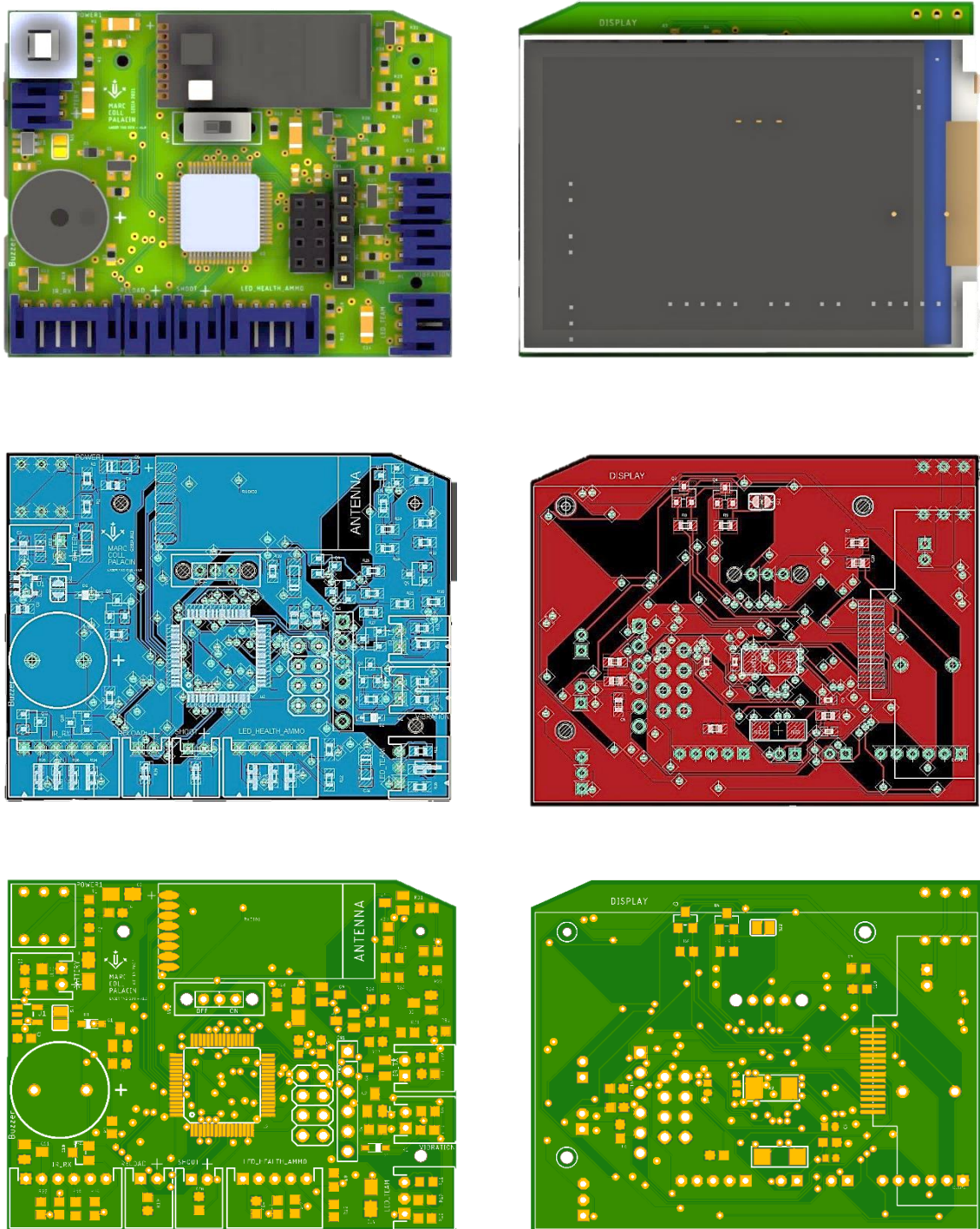


Figura 18. Disseny PCB

Els diferents sectors de components amb les mateixes funcions s'agrupen al mateix espai de la placa per facilitar la comprensió de la placa i ajudar en el procés de muntatge

posterior. En aquest cas com que partíem d'unes dimensions ja establertes per la PCB original i el nou model, té alguns components més, s'ha treballat amb molt detall la distribució de perifèrics a fi d'ubicar-los tots dintre i de la millor forma possible; això ha implicat haver de situar algunes resistències —que són d'unes dimensions molt reduïdes— a sota dels connectors que veiem als diferents laterals del disseny. Aquests connectors JST serveixen per poder manipular de forma ordenada el cablejat del dispositiu, ja que en les pistoles originals, les connexions d'alimentació, botons i alguns LEDs, anaven soldats directament a la placa i no permetien poder separar la placa del dispositiu fàcilment sense tallar o dessoldar les connexions. Seguidament s'exposen els diferents esquemes electrònics i les seves respectives funcions

4.3.1. Alimentació

Les pistoles estaran connectades a una font de corrent continu de 6V, proporcionada per quatre piles del format AA. Mitjançant un interruptor de dues posicions, es pot donar corrent a tot el circuit o tallar l'alimentació i descarregar els condensadors per la resistència R1. Si tenim el dispositiu alimentat podrem veure un la llum indicadora del LED1 encesa i el convertidor LD3985M33R treballant, aquest té la funció de subministrar una tensió constant i estable de 3.3V a la resta de components que deriven de l'etiqueta VDD. S'utilitza un pont *jumper* SJ1 per facilitar el muntatge i evitar que es deteriori el circuit aigües avall en el cas que l'alimentació no funcione correctament o com era d'esperar.

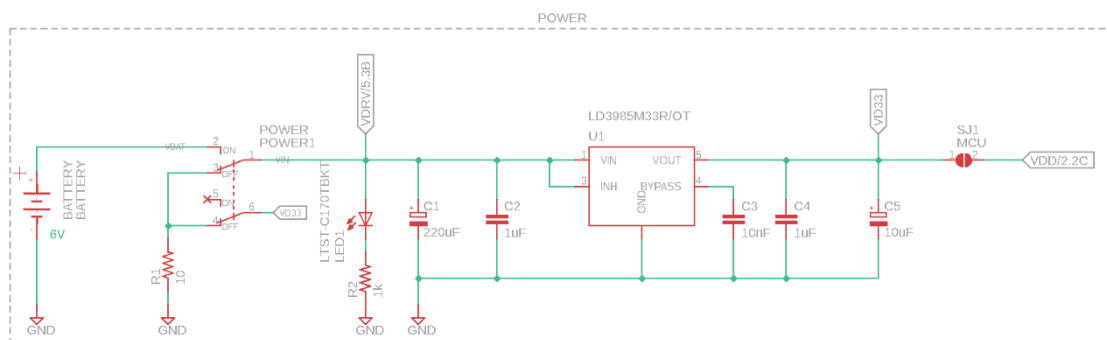
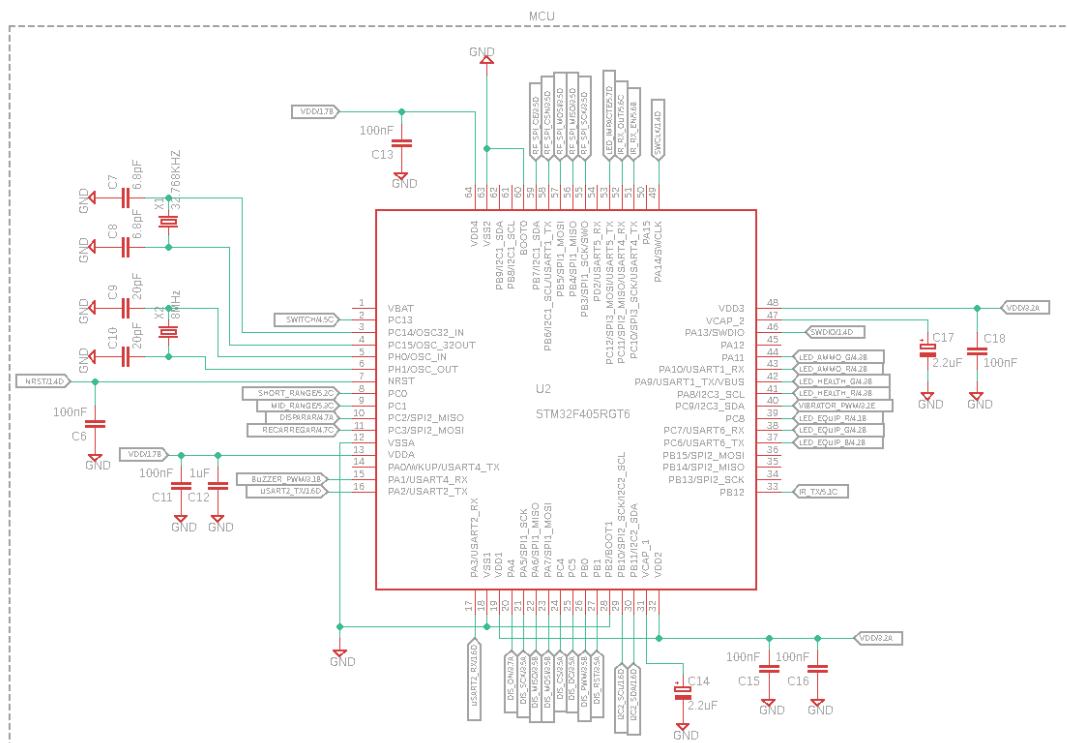


Figura 19. Esquema alimentació

4.3.2. Control

El microcontrolador escollit per integrar aquest projecte és el STM32F405RGT6 que consta de 64 pins, 54 dels quals són del tipus I/O. Aquesta part de l'esquema consta del MCU amb els seus respectius condensadors i cristalls que marca el fabricant i les diferents etiquetes amb el nom de les connexions que controla. Aquestes connexions estan distribuïdes en funció de la tasca que han de desenvolupar, ja siguin protocols de comunicació com el SPI o USART o entrades i sortides binàries que controlen per exemple, els polsadors. També estan diferenciats els pins amb timers que s'utilitzen per a la generació de senyals PWM que s'encarreguen de l'emissió d'infrarojos i de la il·luminació de LEDs.



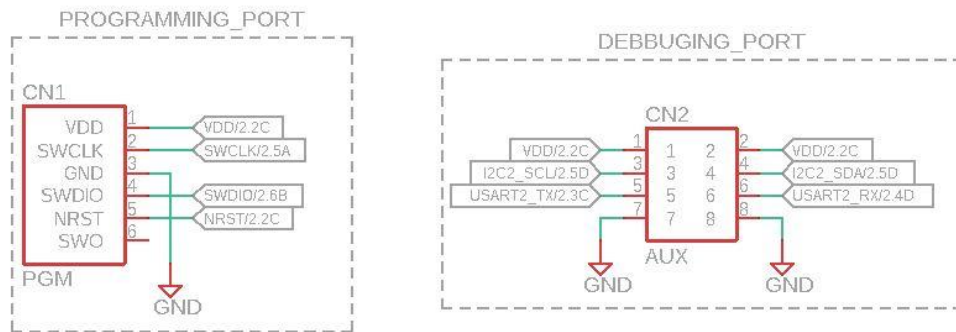


Figura 21. Esquema programació

4.3.4. Entrades digitals

Aprofitant l'estructura original de la pistola, els següents perifèrics s'utilitzen com a mitja de comunicació de l'usuari amb el dispositiu. Aquest consta de dos pulsadors per disparar i recarregar l'arma respectivament i d'un interruptor desplaçable que permet escollir entre una il·luminació màxima o mínima de la pantalla. Originalment aquest interruptor s'utilitzava per indicar si estàvem jugant en un espai interior o exterior i ajustar d'aquesta manera, alguns paràmetres interns del receptor d'infrarojos. Electrònicament s'utilitzen tres pins I/O i resistències pulldown per controlar les diferents entrades digitals d'aquests perifèrics.

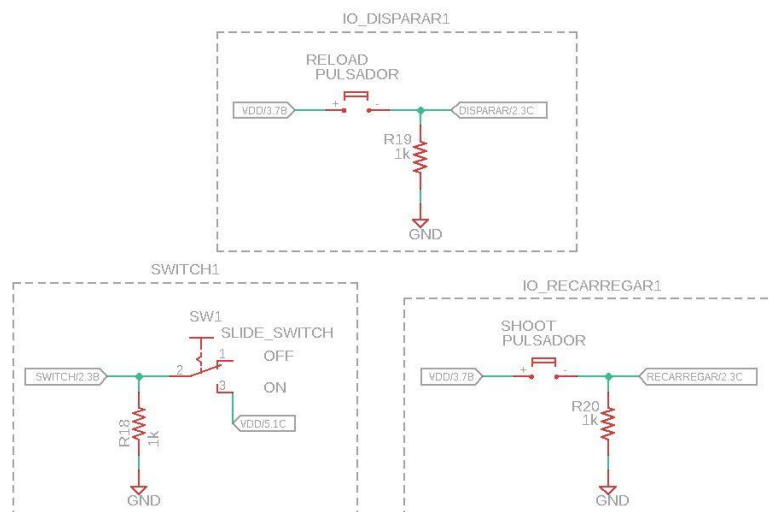


Figura 22. Esquema entrades digitals

4.3.5. So i vibració

El control d'aquests dos perifèrics es du a terme mitjançant un transistor NPN que permet controlar de forma digital el zumbador i el motor vibrador. En el primer cas s'utilitza un pin PWM que dóna forma al so que volem reproduir en funció del duty

utilitzat en el senyal modulats que surt del MCU. En el cas del motor, s'utilitza el mateix concepte amb un senyal binari I/O que permet deixar circular el corrent o no fer-ho.

En ambdós casos s'utilitza un diode zener paral·lel al perifèric per protegir-lo contra sobretensions, quan apareix una polaritat inadequada —invertida respecte a la que seria l'apropiada— el díode zener condueix el corrent i es converteix en un curtcircuit per evitar danyar el nostre component. A més a més, en el cas del motor, el condensador de 1nF que s'utilitza en paral·lel absorbeix els pics de voltatge produïts quan les escombretes, connecten el corrent elèctric als debanats de l'motor i s'obren o tanquen. Com que els pins utilitzats al MCU proporcionen un corrent insuficient, s'utilitzen els transistors en els circuits mostrats per amplificar-lo. En el cas del *buzzer* s'utilitza una resistència (47KΩ) de la base a terra, per descarregar el circuit. Aquesta resistència és d'una impedància molt gran perquè té l'objectiu de maximitzar el corrent que circulara per la base i així fer més eficaç l'amplificació. En el cas del motor, la resistència a terra no és necessària ja que el condensador es carrega de totes formes i s'utilitza la resistència de 100Ω per descarregar-lo.

Aquesta resistència ha de ser petita per permetre fer circular el màxim corrent possible al motor però és necessària ja que d'altra manera, el corrent tardaria a establir-se.

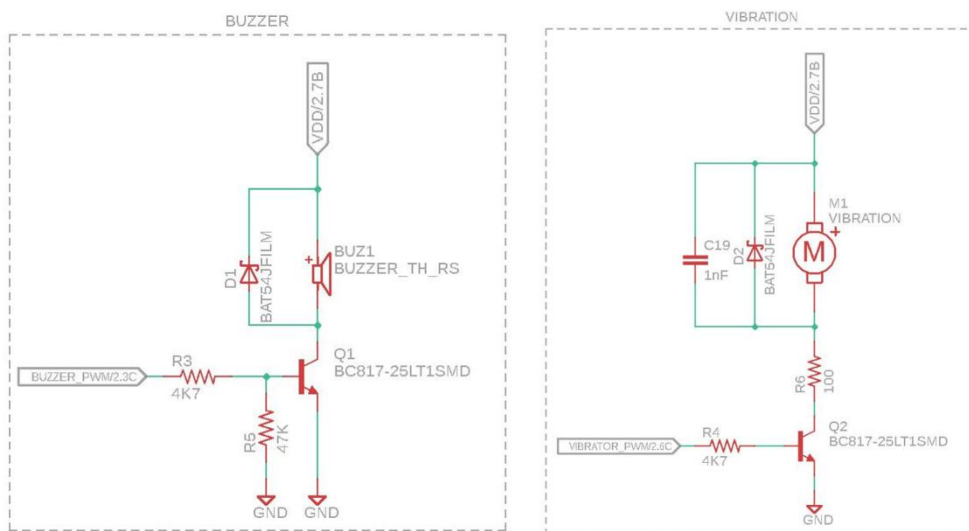


Figura 23. Esquema altaveu i motor

4.3.6. Pantalla

La pantalla utilitza el protocol de comunicació SPI que correspon a sis connexions, a més a més, aquest perifèric té un pin especial que s'encarrega d'ajustar la il·luminació de la pantalla, aquest pin s'alimenta a VDD (3.3V) seguint les pautes d'un senyal modulats PWM que prové d'un pin del MCU amb la funció de *timer* que activa el mosfet Q3 segons el *duty* programat, aquests mosfet deixa circular el corrent corresponent i modifica la brillantor de la pantalla. Per una altra banda s'utilitza un altre transistor Q4 per alimentar



Un dels components més diferencials del projecte és el NRF2401 amb antena ceràmica que habilita al dispositiu a comunicar-se mitjançant ones de radiofreqüència a 2.4 GHz amb altres pistoles. Aquest mòdul utilitza també el protocol de comunicació SPI i com a tal, utilitza sis pins del MCU i s'alimenta a 3.3V (VDD). El model escollit té unes dimensions molt reduïdes i utilitza pads SMD per integrar-se a la PCB el que és una gran notícia pel que fa al disseny electrònic de la placa, ja que amb molt poc espai i recursos, el mòdul és capaç d'actuar com emissor i receptor RF.



4.3.8. Il·luminació

Com ja s'ha comentat, el dispositiu consta d'aquests dos LEDs externs que permeten una interacció indirecta amb l'usuari. Tenen l'objectiu d'indicar l'equip al qual pertany el jugador i els nivells de vida i munició dels que disposa. Tots els pins digitals a què estan connectats els diferents càtodes dels díodes, tenen la funció de timers —per aquesta causa, s'utilitzen 7 timers diferents— i permeten regular de forma individual la il·luminació de cada color.

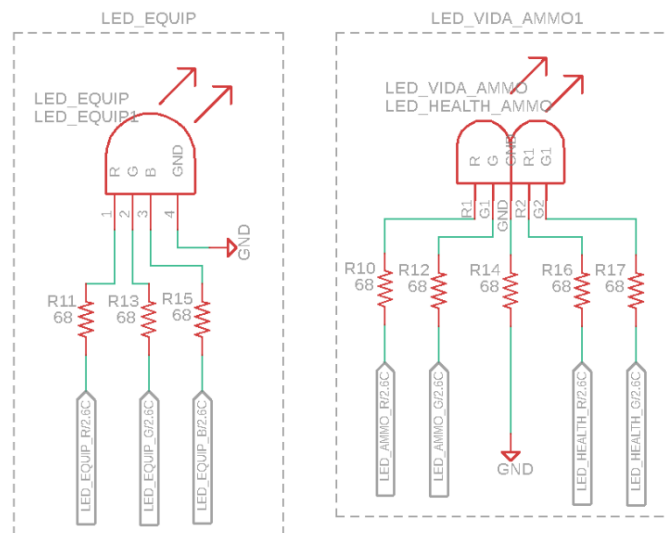


Figura 26. Esquema LEDs

4.3.9. Emissor IR

Aquest circuit és el més complex i s'encarrega de subministrar el corrent adient al díode emissor d'infrarojos situat a la punta del dispositiu. Per fer-ho utilitza l'entrada digital IR_TX que envia els diferents flancs en funció del senyal a transmetre, aquesta informació activa i desactiva el primer transistor Q5 que envia el senyal pel circuit d'amplificació on estan ubicats els transistors Q7 i Q9. Aquesta part de l'esquema està alimentada directament a 6V que és la tensió nominal de les piles i genera pel col·lector del transistor Q9 un corrent de 590 mA.

El díode d'emissió no podria suportar aquest amperatge tan gran, però, en aquest cas particular la funció que desenvolupa el component fa factible aquesta alta corrent amb què treballa, ja que el temps durant el qual el LED està activat és de l'ordre de microsegons i d'aquesta manera, no és possible cremar el component. A més a més, tal com estava dissenyat en les pistoles originals —d'on s'ha tret aquest circuit—, és important tenir aquests nivells de corrent, ja que volem aconseguir l'abast més gran possible per poder disparar altres jugadors a distàncies d'almenys 7 metres.

Per altra banda, s'ha millorat el comportament del circuit afegint dues branques paral·leles al díode d'emissió que permet, en ser activades pels transistors Q6 i Q8, regular el corrent que circula pel LED i per tant, establir diferents rangs de tir. Per una banda si els dos pins estan apagats — 0 amb una resistència pulldown—, l'abast serà màxim i si activem un, o l'altre transistor, reduïm respectivament la potència d'emissió de més a menys abast.

Els transistors BJT model BC817–25 tenen un guany de corrent en DC de 160 (hfe) fet que permet obtenir finalment, una gran amplificació. Principalment són els transistors Q7 i Q9 els encarregats del circuit d'amplificació de corrent que tenen l'objectiu de facilitar l'amperatge més gran possible al díode emissor. Com podem veure als esquemes inferiors, el transistor Q5 actua com una porta de pas per activar o desactivar el mecanisme següent, si l'entrada digital IR_TX està activada el transistor Q5 entra en mode saturació i activa el circuit d'amplificació, connectant a terra la branca esquerra del circuit. Igual que en ocasions anteriors, les resistències R22, R25 i R27 actuen com a resistències pulldown i tenen una impedància alta per reduir el corrent que es perd sense cap efecte.

Mirant la caiguda de tensió V_{ce} de tots els transistors podem arribar a les següents conclusions:

$$V_{ce5} = 103.26 \text{ mV} < 0.3 \text{ V} \rightarrow Q_5(\text{NPN}) \text{ SATURAT}$$

$$V_{ce7} = -1.66 \text{ mV} < -0.3 \text{ V} \rightarrow Q_7(\text{PNP}) \text{ ACTIU}$$

$$V_{ce9} = -2.53 \text{ mV} < -0.3 \text{ V} \rightarrow Q_9(\text{PNP}) \text{ ACTIU}$$

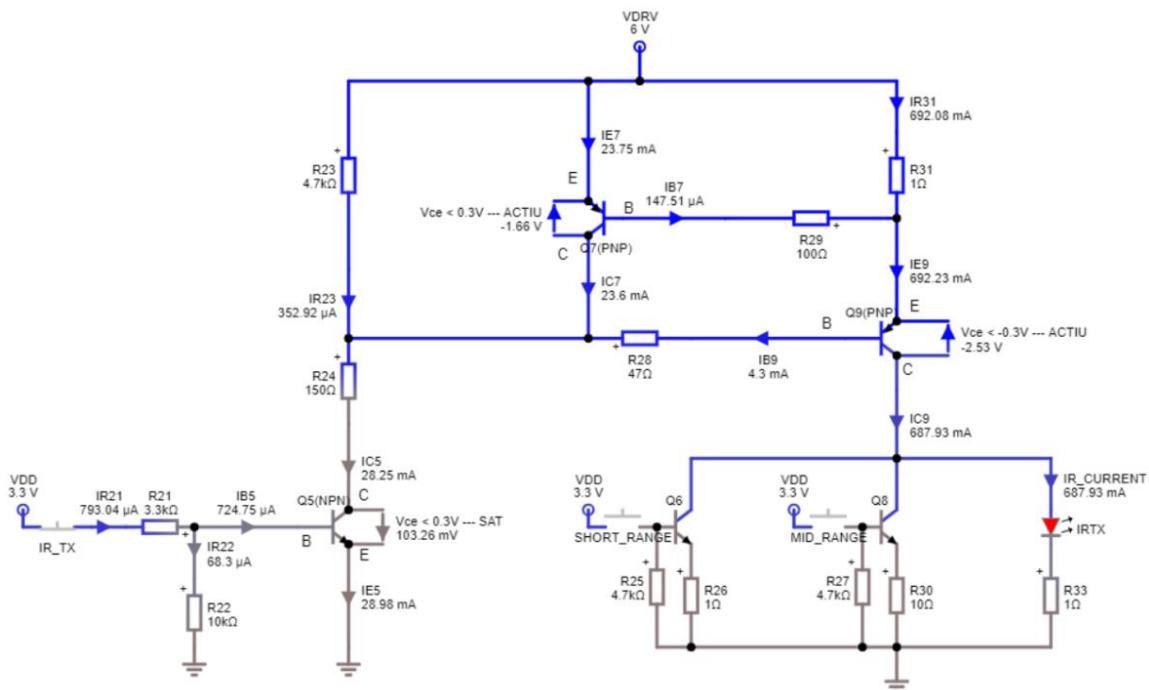


Figura 27. Simulació amplificació corrent IR TX

A més a més s'observen les següents corrents al llarg de tot el circuit:

Corrent	Valor (mA)
IR21	0.793
IR22	0.0683
IB5	0.724
IE5	28.98
IC5	28.25
IR23	0.352
IB7	0.147
IE7	23.75
IC7	23.6
IR31	692.08
IB9	4.3
IE9	692.23
IC9	687.93

$$\begin{aligned}
 I_{E7} &= I_{B7} + I_{C7} \\
 I_{E9} &= I_{B9} + I_{C9} \\
 I_{C5} &< h_{fe} I_{B5} \\
 I_{C7} &= h_{fe} I_{B7} \\
 I_{C9} &= h_{fe} I_{B9} \\
 V_{BEsat} &= 0.7 \text{ V} \quad V_{CEsat} = 0.2 \text{ V} \\
 I_E &\cong I_C = I_B(\beta + 1)
 \end{aligned}$$

Figura 28. Corrents calculades

Realitzant càlculs de forma manual s'obtenen els mateixos resultats. Aproximem l'alimentació de la base del transistor Q5 mitjançant Thevenin, d'aquesta manera es pot calcular fàcilment el corrent IB5:

$$V_{TH} = \frac{10k}{10k + 3.3k} \cdot 3.3 = 2.48 \text{ V}$$

$$R_{TH} = \frac{3.3k \cdot 10k}{3.3k + 10k} = 2.48 \text{ k}\Omega$$

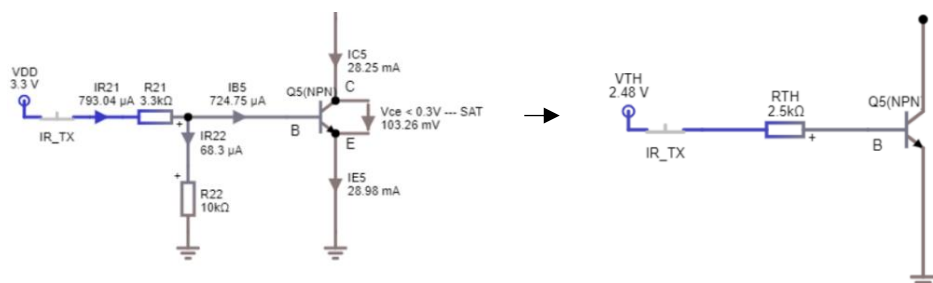


Figura 29. Simplificació entrada TX

$$I_{B5} = \frac{V_{TH} - V_{BE5}}{R_{TH}} = \frac{2.48 - 0.7}{2.48k} = 717.74 \mu A$$

$$I_{R23} + I_{C7} + I_{B9} = I_{C5}$$

$$I_{R31} = \frac{6 - v_y}{1}; \quad I_{E9} = I_{R31} + I_{B7}; \quad \boxed{I_{R23} = \frac{6 - V_x}{4.7k}}; \quad \boxed{I_{C5} = \frac{0.2 - V_x}{150}};$$

$$\begin{cases} 6 - v_y + I_{B7} = I_{B9} \cdot (\beta + 1) \\ 6 - 0.7 - I_{B7} \cdot 100 = v_y \\ v_y - 0.7 - I_{B9} \cdot 47 = v_x \end{cases} \rightarrow \begin{cases} I_{B7} = -7.72 \cdot 10^{-3}(v_x - 4.39) \\ \boxed{I_{B9} = -4.84 \cdot 10^{-3}(v_x - 5.29)} \\ v_y = 772.29 \cdot 10^{-3}(v_x + 2.46) \end{cases}$$

$$\boxed{I_{C7} = I_{B7}(\beta + 1) = -7.72 \cdot 10^{-3}(v_x - 4.39) \cdot 161}$$

Resolem l'equació per trobar v_x :

$$I_{R23} + I_{C7} + I_{B9} = I_{C5} \rightarrow \frac{6 - V_x}{4.7k} - 7.72 \cdot 10^{-3}(v_x - 4.39) \cdot 161 - 4.84 \cdot 10^{-3}(v_x - 5.29) = \frac{0.2 - V_x}{150}$$

$$v_x = 4.41 \text{ V}$$

Ara podem obtenir la resta de valors:

$v_y = 772.29 \cdot 10^{-3}(v_x + 2.46) = 5.3 \text{ V}$
$I_{R21} \cong I_{B5} = 717.74 \mu A$
$I_{R22} \cong 0 \text{ A}$
$I_{E5} \cong I_{C5} = \frac{0.2 - V_x}{150} = -28.06 \text{ mA}$
$I_{R23} = \frac{6 - V_x}{4.7k} = 338.29 \mu A$
$I_{B7} = -7.72 \cdot 10^{-3}(v_x - 4.39) = -154.4 \mu A$
$I_{E7} \cong I_{C7} = -7.72 \cdot 10^{-3}(v_x - 4.39) \cdot 161 = -24.85 \text{ mA}$
$I_{R31} = \frac{6 - v_y}{1} = 694.37 \text{ mA}$
$I_{B9} = -4.84 \cdot 10^{-3}(v_x - 5.29) = 4.25 \text{ mA}$
$I_{E9} \cong I_{C9} = I_{R31} + I_{B7} = 694.36 \text{ mA}$

Figura 30. Resultats matemàtics circuit amplificació

Els valors negatius representen un corrent en sentit oposat al real, el mòdul és el mateix. De forma resumida en la següent taula es pot veure clarament quin són els valors de corrent obtinguts amb l'amplificació, que és necessària per dur a terme un dispositiu útil amb distàncies de joc d'almenys 7 metres entre jugadors.

Les sortides digitals de curt i mig abast estan representats amb els valors lògics possibles segons el firmware utilitzat.

SHORT_RANGE	MID_RANGE	Corrent (mA)
0	0	687.93
0	1	508.27
1	0	425.14
1	1	-

Figura 31. Resum potència IR TX

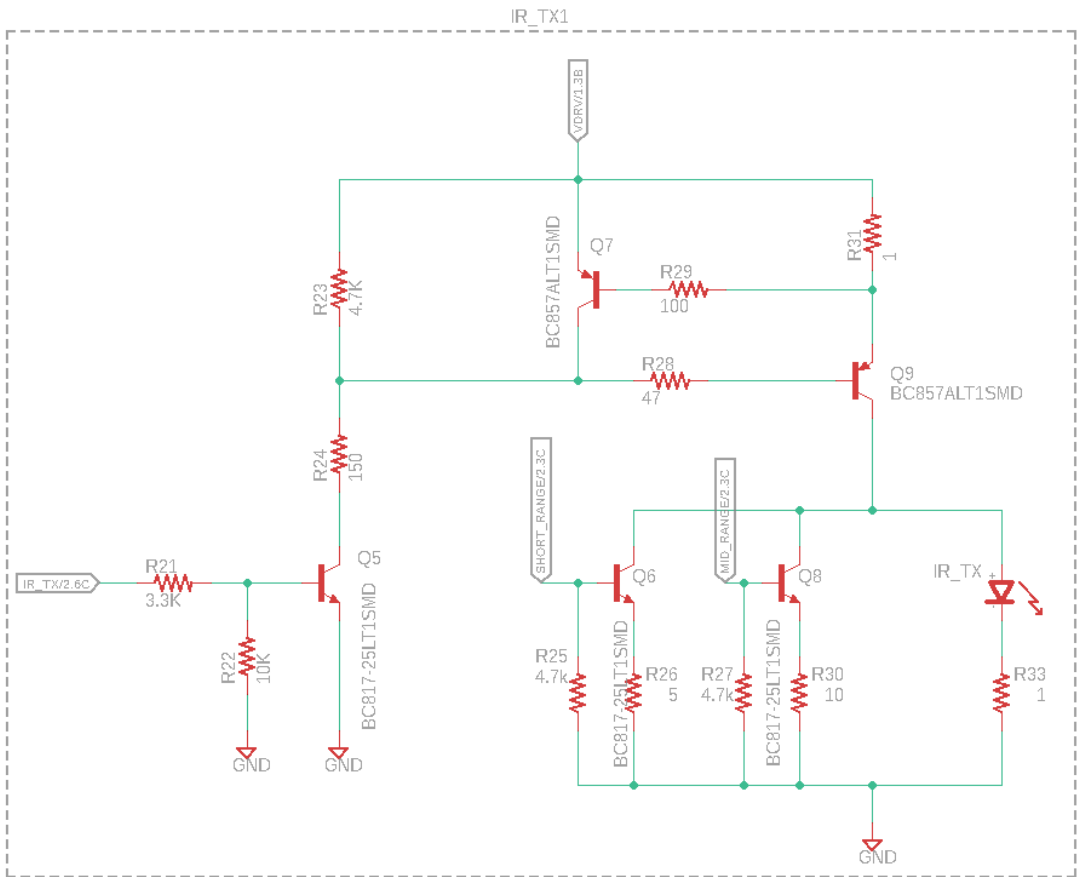


Figura 32. Esquema d'amplificació de corrent

4.3.10.Receptor IR

El circuit integrat del qual disposa aquest component ha facilitat en gran manera la integració del mateix a la PCB, però a no ha permès entendre correctament com funciona internament. De totes maneres s'ha localitzat la funció de tots els pins i s'ha millorat el circuit afegint un mosfet Q10 que controla l'estat —obert o tancat— del mòdul per gestionar l'energia d'una forma més eficient, a més s'ha corregit pel que fa a hardware —tot i que era igualment factible fer-ho a nivell de software— el comportament dels LEDs d'impacte que s'il·luminen al rebre un senyal IR vàlida. Originalment aquests LEDs funcionaven de forma negada, és a dir, s'il·luminaven en estat 0 i s'apagaven en estat 1, finalment s'ha invertit aquest comportament afegint una porta lògica NOT amb un transistor NPN Q11.

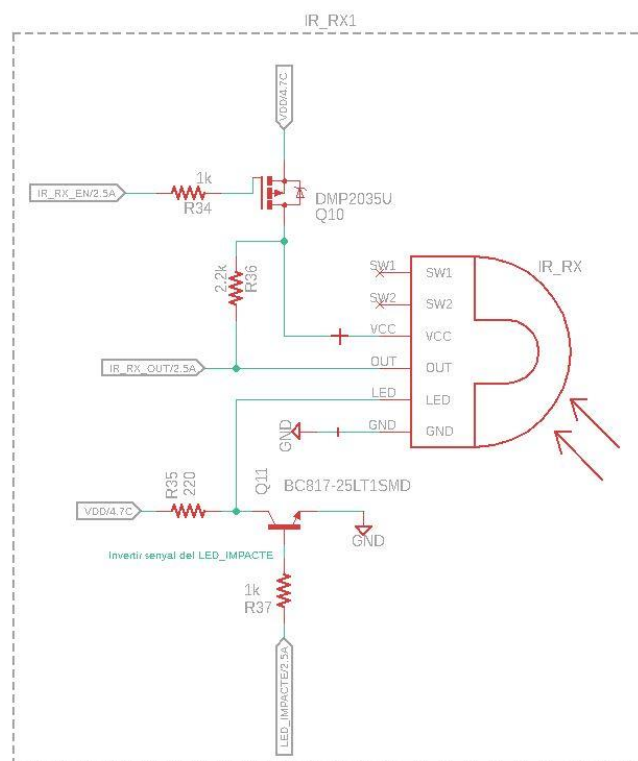


Figura 33. Esquema IR RX

4.4. Distribució de components

L'espai disponible dins la carcassa del dispositiu a jugat un paper molt important, ja que totes les dimensions i cotes de disseny de la paca han estat directament restringides pels forats on van els caragols que la fixen a l'estructura. Així doncs s'ha hagut d'ubicar tàcticament els components aprofitant al màxim l'espai. En la següent imatge es pot veure clarament quina és la ubicació dels grups esmentats dins el disseny de la placa PCB, tant per la cara superior on està la pantalla com per la cara inferior amb la resta de components.

- | | | |
|------------------|-------------------|----------------------|
| 1) Alimentació | 2) Mòdul de ràdio | 3) Emissor IR |
| 4) So i vibració | 5) Il·luminació | 6) Entrades digitals |
| 7) Receptor IR | 8) Control | 9) Pantalla |

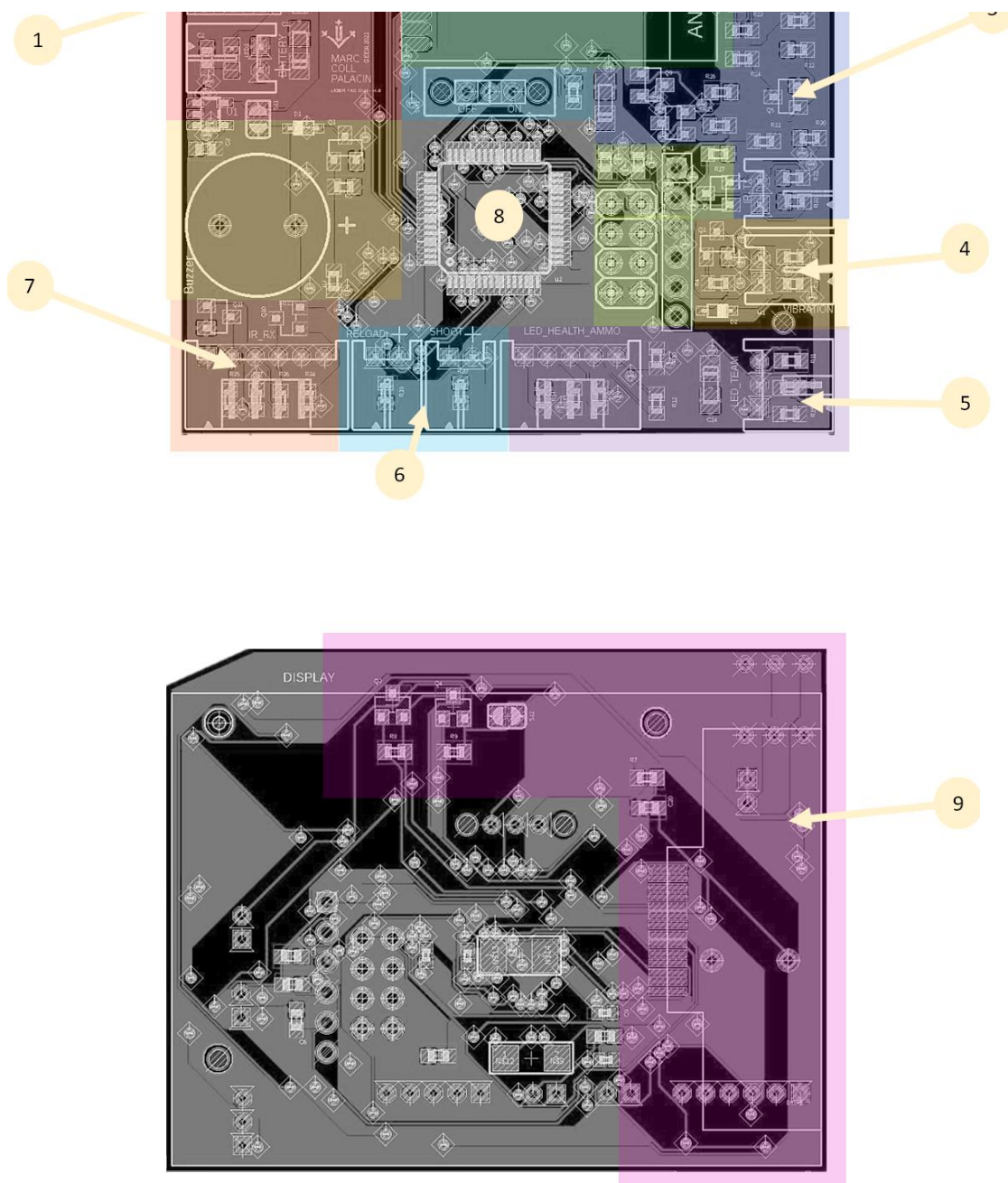


Figura 34. Sectors PCB

5. Software

Desenvolupament teòric del algorisme en que està basat el firmware de les pistoles per la versió actual i la versió definitiva.

5.1. Versió definitiva

Aquest model de *software* recull totes les futures implementacions que pot tenir el dispositiu, ja que el hardware ho permet. A partir d'aquest apartat creatiu, es desenvoluparà la versió simplificada que s'integrarà finalment al dispositiu (versió actual).

5.1.1. Fonaments

Per tal de desenvolupar un firmware ordenat i funcional s'ha optat per treballar en profunditat primerament tot l'apartat del *backend* d'una forma gràfica i esquematitzada, enfocant els esforços en fer comprensible el algorisme mitjançant diagrames de flux que representen la manera que tindrà el codi de treballar. Al ser un dispositiu que treballarà en temps real es més important que mai insistir en el rendiment i optimització del codi per damunt d'altres aspectes i aprofitar al màxim les capacitats del microcontrolador, així doncs s'ha dividit el flux de treball en tres blocs independents que s'aïllen amb `#defines` per funcionar de forma consecutiva depenent de l'elecció de l'usuari i el transcurs del joc.

Un dels fonaments del programa i del projecte en general son les comunicacions entre els dispositius, concretament tenim el protocol NEC amb infrarojos i la comunicació amb radiofreqüència. Aquestes dos bases del codi estan implementades amb les funcions *disparar_IR()* i *rebre_IR()* per una banda, que tenen l'objectiu d'enviar i rebre trets entre pistoles amb la transmissió d'informació com el *dany* i la identificació *id* del jugador origen. Per l'altra banda la comunicació de 2.4GHz utilitza les funcions *parlar_RF()* i *escoltar_RF()* que poden intercanviar cadenes de text amb diferents informacions en funció del bloc on estiguem treballant, aquestes dades es guarden a la variable *rebut*.

5.1.2. Abans de la partida

Aquest bloc te l'objectiu de configura les pistoles en funció dels jugadors i els rols escollits per cadascun, concretament es defineixen els participants i quin d'ells serà el creador de la partida, d'aquest manera un dels jugadors exercirà com a enllaç entre la resta de participants amb l'objectiu de vincular el grup i encriptar totes les comunicacions de la partida per evitar interferències o pèrdues d'informació.

Inicialment al obrir el dispositiu cada usuari pot escollir un nom pre-definit i un color que el representarà com a jugador individual o equip en funció de la modalitat. Aquests

paràmetres seran accessibles mitjançant la pantalla integrada i definiran les variables de *noms* i *colors*, dins la funció que s'encarrega d'aquesta tasca: *escollir_nom_color()*. En aquest punt es pregunta per pantalla si volem crear o unir-nos a una partida, moment en el qual es diferencia al participant creador del que no ho és —variable *creador*, 1 i 0 respectivament. Per una banda el creador de la partida generarà el codi de grup amb la funció *generar_codi_grup()*, aquest codi es una valor numèric de tres xifres que s'utilitzarà en totes les comunicacions posteriors del grup, seguidament es genera el identificador del jugador, una variable *id* que consta de la informació bàsica d'un jugador: el nom, color i codi de grup utilitzant la funció *generar_id()*, que es pot separar de nou amb la funció *analitzar_id()* en qualsevol moment. Per una altra banda els jugadors que es volen unir a una partida existent, hauran escollit l'opció d'unir-se i seguidament esperant a rebre la comanda *A_ID* del creador, amb la informació bàsic del jugador nexa —i de tots els creadors tercers que puguin esta en aquesta fase al mateix moment amb la funció *actualitzar_grpus()*— els participants no creadors podran escollir el codi de grup al que es volen unir i juntament amb aquest codi, podran generar també el seu *id*.

A partir d'aquí comença la fase d'emparellament durant la qual tots els jugadors envaran i rebran simultàniament la comanda *B_ID* que s'anirà descodificant en cada cas i afegint els jugadors nous a una llista de participant per pantalla amb la funció *actualitzar_llista()* —en aquest punt també es crea la variable *dades* que ordena el nom, color, baixes i morts de cada jugador de manera que es puguin anar afegint i consultant posteriorment—, aquests procés es repetirà de manera indefinida fins que el creador indiqui que tots els jugadors que s'esperaven ja hi son i per tant, es pot començar la partida. El jugador nexa envia la comanda *C_codigrup* amb l'objectiu d'aturar el l'emparellament dels participants, que romandran a l'espera (*esperar_mode_joc()*) de la nova senyal *D_codigrup_modejoc* enviada pel creador després d'haver escollit la modalitat de joc de la partida mitjançant una interfície de la pantalla i la funció *escollir_mode_joc()*, que defineix les variables de temps màxim de partida (*t_maxim*), si es pot o no reaparèixer (*reaparèixer*), la puntuació màxima que determinarà un equip o jugador vencedor (*puntucio_maxima*) i el propi mode de joc (*mode_joc*).

Un cop decidida la modalitat, cada dispositiu dona a escollir el rol del jugador amb la funció *escollir_rol()* i mitjançant la pantalla. Aquesta informació segmenta molt bé el tipus de joc que volem dur a terme i defineix les variables característiques de cada pistola, unes propietats que no es podran canviar fins tornar a començar una nova partida; aquestes variables son: l'abast de tir (*abast*), les tres característiques especials anomenades acció (*acció*), el nombre de cartutxos i munició de l'arma (*cartutxo* i *municio*), el dany base que treurà cada tret als jugadors rivals (*dany*), la quantitat màxima de salut que tindrà el jugador al estar 100% recuperat (*vida_maxima*), el temps que ha de passar entre cada tret (*t_cadencia*), el tems mínim que ha de passar un jugador sense perdre salut per autoregenrar-se la vida (*t_curacio*), el temps mort entre que quedés eliminat i pots tornar a jugar (*t_reapareixer*), el temps que ha de passar

abans de que una recàrrega de munició es faci efectiva ($t_{recarga}$) i finalment, el propi identificador de rol que has escollit (rol).

Per acabar aquest bloc, un cop tots els jugadors tinguin inicialitzades totes les variables d'elecció pròpia, justament després d'escollir el rol tots els participants rebran les instruccions per calibrar el comptador. Mitjançant la funció *calibrar_temps()* es demana que de forma coordinada es premi els dos botons al mateix temps durant uns segons de tal manera que es pugui començar a comptar els temps— a la variable *temps* de cada dispositiu— amb l'objectiu de portar un seguiment de la partida de forma sincronitzada amb tots els jugadors per igual. En aquest punt es mostra un compte enrere de 10s per pantalla (*countdown()*) durant el qual els jugadors es poden separar i donar pas al inici de la partida.

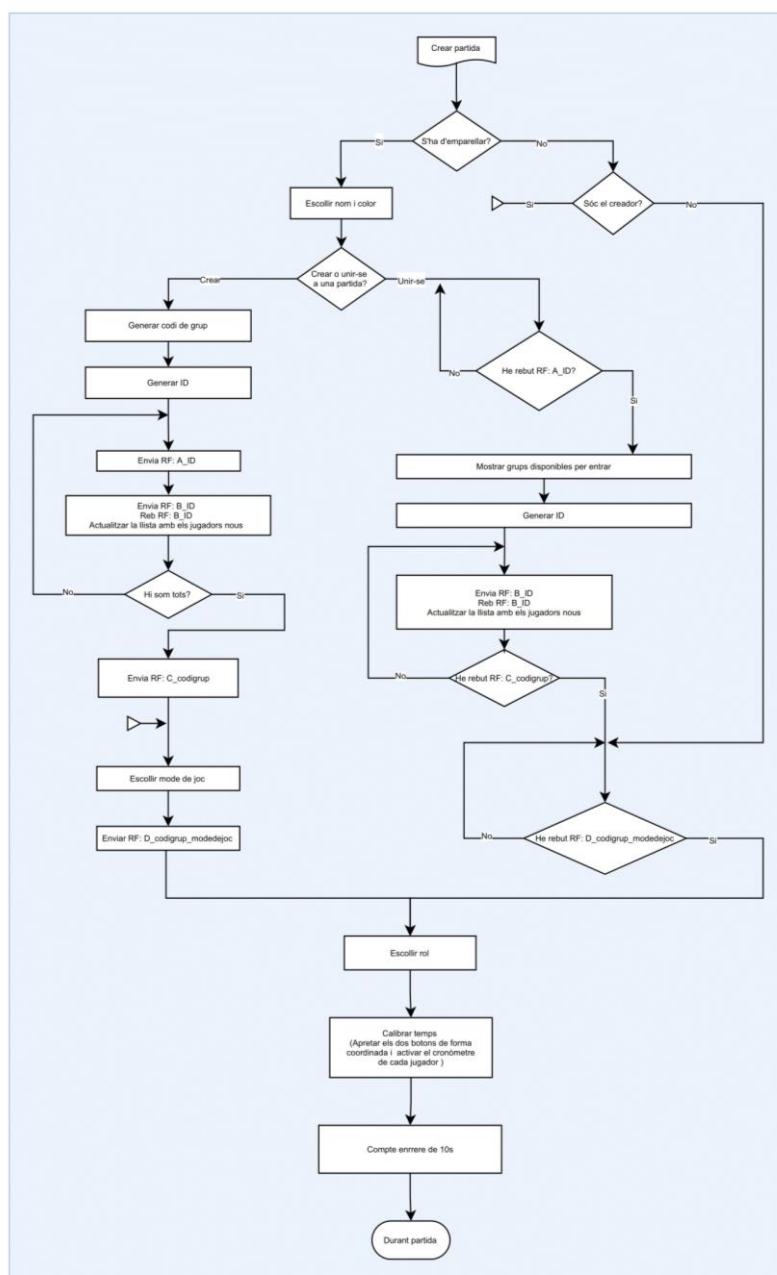


Figura 35. Diagrama de flux BLOC 1

5.1.3. Durant partida

El segon bloc s'executa durant el transcurs de la partida i té l'objectiu d'analitzar totes les senyals que es rebin per infraroig o radio al mateix temps que de igual manera, també permet enviar aquestes senyals. El funcionament bàsic d'aquest bloc es el següent: es poden rebre senyals d'infrarojos o de radiofreqüència en qualsevol moment, al mateix temps que també en qualsevol moment es poden enviar senyals IR prement el botó de tret. En canvi sol es pot enviar una comanda per RF quan s'ha rebut primerament un impacte per IR, per tant en general podem dir que els dispositius sempre estan en mode receptiu i solament comuniquen informació en instants determinats i de forma asíncrona.

L'algorisme, consultant les variables *temps* i *puntuació*, comença comprovant si la partida ha de finalitzar ja sigui per que s'ha superat el temps màxim de joc o be perquè un equip a assolit la puntuació màxima. En cas que la partida estigui en joc es determina si hem rebut algun tret i el bloc es ramifica en dos branques en funció de si ens han disparat o no.

- Ens han disparat:

Mitjançant la funció *analitzar_ir()* es decodifica la senyal rebuda i sobre la informació del disparador que consta de del seu ID i el dany que causa. Amb la identificació que rebem es determina si el tret prové d'un equip o d'un altre. Si el tret prové del equip contrari es crida la funció *restar_salut()* que actualitza la vida del jugador disparat i segons si aquesta acaba sent superior o inferior a zero determina si el jugador ha quedat eliminat o segueix viu. Si no ha mort, el cicle torna a començar pel començament del bloc, en cas contrari el jugador eliminat utilitza la funció *crear_misstage()* per generar el string que enviarà amb *parlar_rf()* dins la funció específica *he_mort()*, aquesta comanda consta de la id del jugador assassí i del jugador mort, que es guarden a les variables temporals *assassi* i *mort* —la id del assassí es guarda a una variable personals nomenada *ultim*—.

Aquesta informació serà escoltada per tots els jugadors que mitjançant la funció *analitzar_rf()* determinaran les identitats del mort i l'assassí, per afegir la informació corresponent a la matriu *dades* al mateix temps que actualitza els marcadors amb la nova puntuació de l'equip assassí, tot mitjançant la funció *actualitzar_marcadors()*. El jugador disparat actualitza també la matriu i seguidament entra en procés de reparar-se (*reparar-se()*) durant el qual l'arma queda bloquejada i es reinicien les variables de munició (*cartutx* i *municio*), la vida (*vida*) s'igual a la màxima del rol i es restaura les *baixes_seguides* a zero. Després d'uns segons el jugador mort pot tornar a entrar en joc de forma normal —si es permeten reparacions (*reparar-se*) com s'ha definit segons el mode de joc al bloc 1—.

- No ens han disparat:

Aquesta branca es la més repetida durant la partida ja que el més freqüent es que no siguem disparats, en aquest cas es comprova primerament si algun jugador ha enviat alguna comanda per RF, si no es el cas es torna a començar el bloc però si hem rebut alguna senyal s'analitza amb la funció *analitzar_rf()*, aquesta comanda indicarà quin jugador a mort i quin jugador la matat, si l'assassí es el que ha rebut el missatge es crida la funció *seguiment()* que compta el número de baixes d'un jugador des de l'ultima reaparició i determina si s'ha arribat al número determinat de baixes seguides per desbloquejar una acció, en aquest cas es mostra per pantalla i posteriorment es pot aplicar. Tots els jugadors que han escoltat questa comada actualitzen la matriu de dades i el marcador per seguidament, tornar a començar el bloc.

Com s'ha explicat alguns cops, cada jugador compta amb tres accions que ofereixen beneficis temporals durant un interval curt de temps i van en funció del rol escollit durant l'emparellament. Aquestes accions es desbloquegen després d'assolir tres, sis i nou baixes consecutives sense morir i s'activen mitjançant el botó de recarregar de forma asíncrona. Per ta d'aplicar els seus efectes s'utilitza la funció ambdues opcions de comunicació, per una banda es pot enviar per infrarojos donant a la variable *dany* un valor determinat que la funció *analitzar_ir()* associarà a una acció i aplicarà els efectes corresponents. Per altra banda es poden enviar aquests efectes per radiofreqüència i seguint la mateixa lògica la funció *crear_misstage()* generarà un string especial per aquest esdeveniment que serà interpretat com a tal per la funció de recepció *analitzar_rf()* i seguidament s'aplicarà l'efecte corresponent.

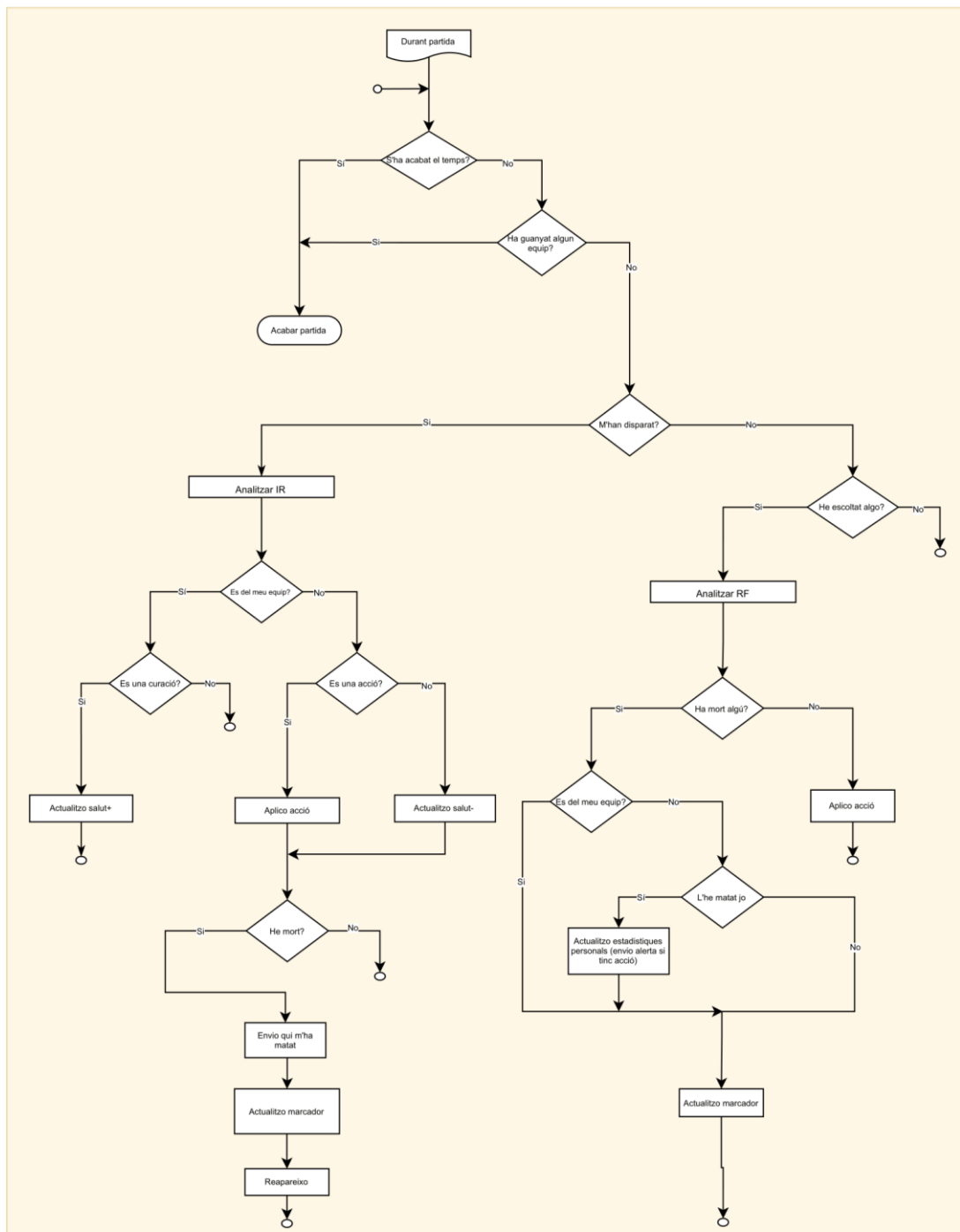


Figura 36. Diagrama de flux BLOC 2

5.1.4. Acabar la partida

Un cop s'ha sortit del bloc dos ja sigui per haver arribat a la puntuació màxima o bé per exhaurir tot el temps de partida, les pistoles queden bloquejades i es mostra per pantalla les puntuacions finals, l'equip guanyador, el jugador amb més baixes i el jugador amb més morts. Aquesta feina l'executa la funció *final_partida()*, que al mateix tems reinicia algunes variables de joc com la *vida*, el *mort* o l'*assassi* i atura el comptador de temps.

Seguidament els jugadors decideixen per pantalla i repetir la partida i conservar totes les configuracions o per contra, crear una partida nova i escollir una modalitat de joc diferent. En funció d'aquesta elecció es donarà valor a la variable *emparellar* que es 1 per defecte i serveix per saltar-se o no el procés de nexa per crear una partida al bloc primer.

Si hem escollit no repetir la partida el programa reactiva el bloc 1 però salta directament al pas on el creador— que es conserva— escull el mode de joc i posteriorment es desenvolupa el camí com amb anterioritat fins iniciar el següent bloc. Per contra si hem escollit repetir la partida, ens apareix per pantalla les instruccions per calibrar el temps i seguidament després del compte enrere de la funció *countdown()* la partida s'inicia de nou amb les mateixes configuracions.

El codi no esta pensat per poder fer canvis d'equips després d'una partida, en aquest cas el que caldria fer es reiniciar les pistoles i escollir un color diferent. Com s'ha descrit anteriorment el color no es del tot significant ja que sol entra en joc quan escollim una modalitat d'equips, es llavors quan s'associen els jugadors d'un mateix color com aliats però per contra si el mode de joc es individual, el color sol serà un factor estètic de l'arma que lluirà de totes formes el color escollit mitjançant un LED integrat.

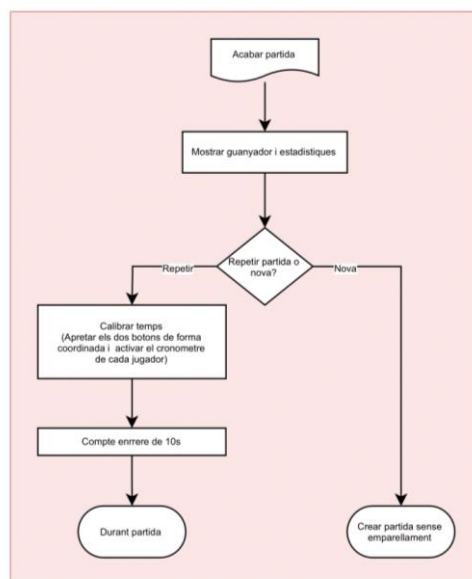


Figura 37. Diagrama de flux BLOC 3

5.1.5. Blocs d'interrupció

Els tres blocs descrits anteriorment constitueixen els fonaments bàsics de funcionament del dispositiu però, donada la complexitat que es vol assolir perquè els pistoles funcionin

correctament, es necessari crear sub-blocs que executen tasques molt curtes i concretes i s'executen indefinidament al llarg de la partida de forma asíncrona. Per començar tenim els dos sub-blocs que s'executen quan premem els interruptors del dispositiu, el botó de disparar i el botó de recarregar.

- El sub-bloc de tret es un procés àgil que comprova si disposem de munició i en cas afirmatiu envia la informació de tret mitjançant el protocol d'infrarojos, seguidament actualitza la munició i espera el temps de repòs que defineix la variable *t_cadencia*. Si per contra no disposem de munició, s'envia una alerta per pantalla i s'acaba el procés.
- El sub-bloc de recàrrega te l'objectiu d'actualitzar la munició i ficar-la al màxim del *cartutx* si aquesta no està ja carregada. Després del procés també s'esperen uns instants de repòs definits per la variable *t_recarrega*. De forma prioritària si tenim una acció disponible quan premem el botó de recarregar s'aplicarà l'efecte de l'acció i en canvi, no es recarregarà. S'utilitzen les funcions *actualitzar_municio()*, *aplicar_accio()* i *no_municio()*.
- El sub-bloc de recuperació de salut controla el temps que ha passat des de l'última variació de vida que a tingut un jugador, si aquest temps supera el temps de curació (*t_curacio*) s'actualitzarà la teva salut i s'afegirà vida, sempre que no es superi el màxim de salut que pertoca segons el rol escollit. Per dinamitzar aquesta recuperació de vida per a jugadors ferits, cada cop que es restauri la salut amb aquest bloc es reduirà el temps de curació, sempre que ningú et dispari o et recuperis del tot, de tal manera que gradualment un jugador es curarà més ràpid si no rebi dany durant el procés. S'utilitza la variable temporal *vida_previa* per fer aquesta comprovació.
- El darrer sub-bloc s'encarrega de gestionar els objectes. Els objectes son avantatges que duren tota la partida i s'entreguen de forma aleatòria a cada jugador de forma individual i totalment independent a la resta de processos. Aquest sub-bloc sorteja un dels objectes disponibles escollint a l'atzar un valor numèric del 1 al 100, aquests valors representen un objecte de més valor o menys en funció de l'avantatge que suposen, tenint un objecte comú 10 números i un especial 1 i evidentment, la majoria de números no estan premiats. El sorteig —que s'executa en la funció *sortejar_objecte()* —es realitza de forma síncrona i està governat per un *timer*, en cas de que toqui un objecte s'envia una alerta per pantalla i s'aplica el seu efecte sense la intervenció del jugador.

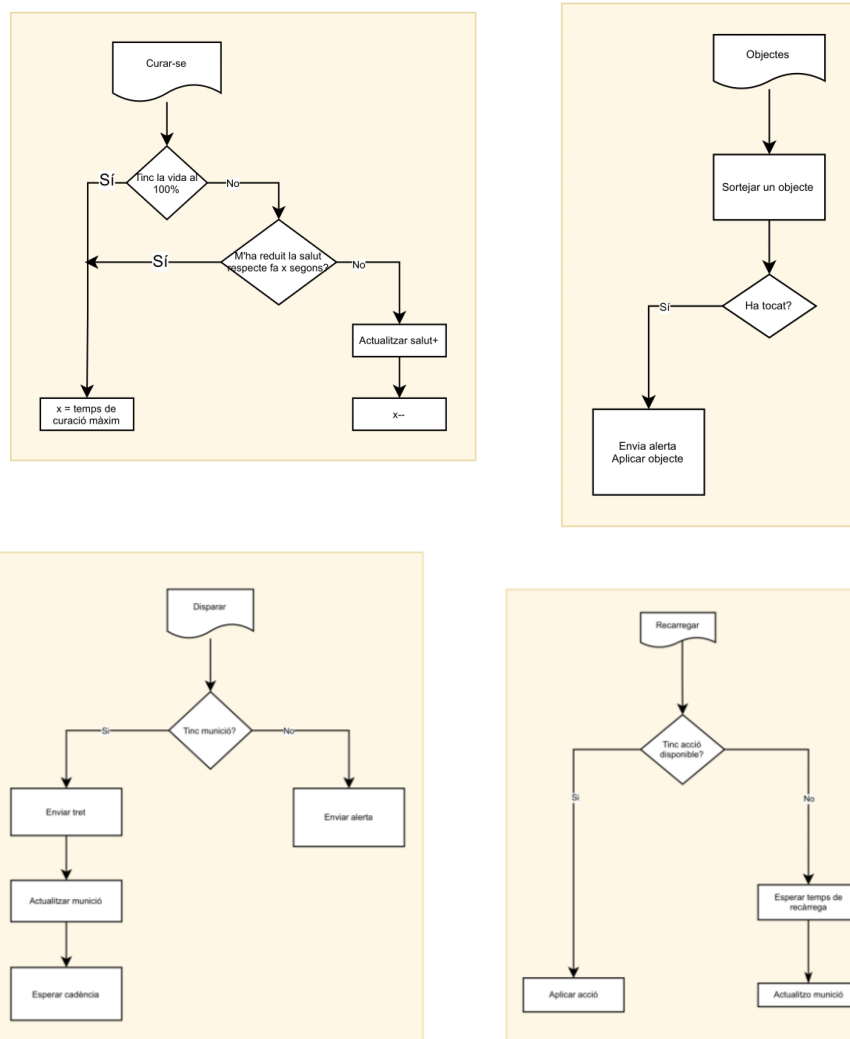


Figura 38. Diagrama de flux BLOC 3

5.2. Versió actual

Després d’avançar en el desenvolupament electrònic del dispositiu, el model d’algorisme anterior seria perfectament aplicable sense realitzar ninguna modificació de hardware addicional, però pel que fa als objectius d’aquest projecte s’ha dissenyat un codi més simplificat que permeti un funcionament bàsic de les pistoles sense algunes de les característiques “creatives” presentades anteriorment.

5.2.1. Consigna

De la mateixa manera que en la versió definitiva, la manera de treballar del codi pel que fa als elements de comunicació —que són els fonaments del sistema— es basa en la recepció ininterrompuda, és a dir, el programa sempre està executant les funcions RX

del mòdul de ràdio i del mòdul infraroig i són els casos particulars de disparar o morir (ja que en aquesta versió no hi ha ni objectes ni accions), s'utilitzarà respectivament el IR TX i el RF TX.

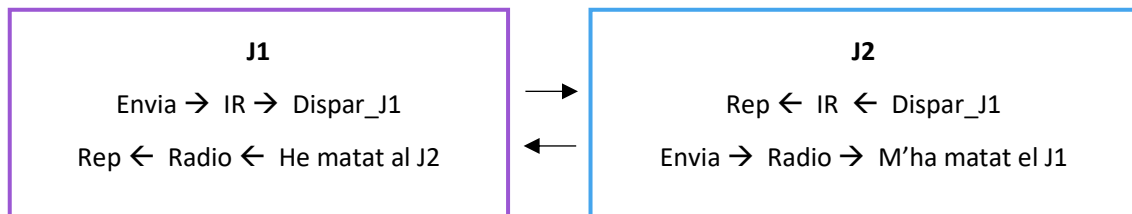


Figura 39. Comunicació entre dispositius

5.2.2. Estructura

L'algorisme final està presentat en una estructura molt organitzada que prioritza el compliment d'un fonament trivial pel funcionament correcte de tot el dispositiu: execució no bloquejant. Tot el codi ha estat enfocat a interrupcions i timers que permeten executar l'algorisme principal a màxima velocitat sense haver d'aturar-se en cap punt, d'aquesta manera no es perd informació i la informació queda actualitzada en temps real. Altrament tindríem un problema amb els mòduls de comunicació, tant en infrarojos com en ràdio, ja que si no funcionen de forma asíncrona és bastant probable que les llibreries deixin de funcionar i en conseqüència, es perdi informació o el programa quedi bloquejat, inutilitzant així l'experiència de joc.

El codi s'ha dividit en dos fitxers principals, l'inicial (main.c) que s'encarrega d'inicialitzar totes les llibreries externes i el secundari (Weapon_GUI.c), que recull tots els processos d'execució del dispositiu així com els models de pantalla.

5.2.2.1. Inicialització

Aquest és la primera part de l'algorisme i té l'objectiu d'inicialitzar tots els diferents perifèrics i funcions especials, la majoria de les quals depenen de llibreries externes —dissenyades i programades en especial per aquest projecte—. Concretament s'inicialitzen els LEDs, el dos botons, el rellotge, el buzzer, el motor vibrador, la pantalla, el mòdul de ràdio i el mòdul infraroig. A més a més es prepara també el següent bloc de l'algorisme amb la funció `Weapon_GUI_Init()` que realitza la següent funció: donar valor a les variables de temps.

- Assignar i activar el rol per defecte i totes les variables associades.
- Definir el temps de reaparició.
- Definir el temps de curació màxim.
- Definir la reducció de temps durant els cicles de curació.
- Iniciar a zero els punts dels equips.
- Iniciar a zero el seguiment de baixes.

- Iniciar consigna d'estalvi energètic pel vibrador²

Després de definir algunes variables, es gestionen LED ID i la funció d'inicialització encén el LED corresponent al color d'equip assignat. Seguidament s'activen els perifèrics de so i vibració mentre es mostra la pantalla d'inici i es tornen a ficar en repòs. En aquest punt es crida la funció de sincronització que comprova el funcionament del mòdul RF entre els dos jugadors presents de cada equip, bloquejant el programa fins que es verifica el correcte funcionament; bàsicament l'algorisme reparteix una de les dues tasques segons l'equip del jugador i després li assigna l'altra, aquestes tasques són respectivament un enviament i una recepció d'informació entre dos punts.

Si cada dispositiu és capaç d'enviar i rebre aquesta informació el procés de sincronització *sincPlayer()* acaba i es fiquen els rellotges a zero *resetTime()*, d'aquesta manera els diferents jugadors tindran tots el mateix temps per pantalla. Finalment es crea la pantalla principal *Weapon_GUI_Screen_Main(ScreenAction_Create)* i es mostren temporalment totes les alertes *alerts()*.

Després de du a terme tot el procés d'inicialització, el fitxer main.c entra en mode espiral i executa de forma interrompuda la funció *Weapon_GUI_Task()* present al fitxer *Weapon_GUI.c* que és la responsable de cridar totes les funcions corresponents i genera les pantalles necessàries segons l'estat de la partida i ho fa sense aturar-se i a màxima velocitat. Algunes d'aquestes subtasques tenen un temps de recuperació assignat que evita que s'executin sempre i dóna un interval de marge després de cridar-se un cop.

5.2.2.2. Tasques

Dins el fitxer *Weapon_GUI.c* es concentren totes les tasques necessàries per fer funcionar de forma satisfactòria el dispositiu. S'agrupen en subfuncions específiques per aquest fitxer, que recullen funcions de les llibreries externes que s'utilitzen amb l'objectiu de simplificar i sobretot, mantenir ordenat el codi final. La primera tasca que s'executa de forma ininterrompuda és l'encarregada d'actualitzar els valors de temps del rellotge, es dóna valor a les variables temporals de minuts i segons. Tot seguit s'actualitza la interfície gràfica cada 500 ms, canviant si es necessari els valors mostrats ja que la creació de interfícies consta de dues variacions diferents, per una banda podem crear una pantalla *ScreenAction_Create* o per l'altra banda la podem actualitzar *ScreenAction_Update*.

Per aquesta versió de firmware s'ha dissenyat la creació d'una pantalla (nova) com la tasca que ha de mostrar per pantalla tots els elements fixos d'una interfície diferent de l'anterior —com el fons, rectangles, dibuixos o valors fixos— i s'executa només quan

² Quan assignem els rols, estem definint també la intensitat de vibració que tindrà el motor cada cop que disparem. Aquesta consigna és 1 per defecte i multiplica el percentatge sobre 100 de la intensitat de vibració, de tal manera que quan no és 1 (durant el mode d'estalvi), en reduïm la intensitat.

creem la pantalla, per tant la diferència amb l'actualització és que aquesta última modifica els valors numèrics variables i es crida constantment des de `Weapon_GUI_Task` per refrescar els diferents esdeveniments de la partida.

Després d'actualitzar la pantalla actual, es criden les funcions per comprovar l'estat dels diferents botons. Per una banda s'activa el mode d'estalvi energètic si el *slide switch* ha canviat de posició, reduint la llum de la pantalla, el volum de l'altaveu i la intensitat de vibració, en cas contrari es mantenen els valors habituals. Tot seguit es comprava l'estat dels dos botons — recarregar i disparar—mitjançant la funció *PushButtonCheck()*; cada situació dependrà de la pantalla en la que es trobi l'usuari en prémer el botó, d'aquesta manera tenim la següent recopilació de possibilitats:

Botons	Pantalla principal	Pantalla de configuració	Pantalla de mort
Disparar	Disparar	Seleccionar el rol	-
Recàrrega	Canvia el carregador	Passa a la següent opció	-

Figura 40. Funció dels botons

Seguidament es concretaran les característiques d'algunes de les funcions que executen els botons descrits. Aquestes funcions són entre d'altres `checkAmmo()`, `checkHealth()` i `checkCombo()` que funcionen de forma ininterrompuda juntament amb la recepció de senyals IR i RF — *getRF()* i *getIR()*—, que funcionen exactament de la mateixa manera que la descrita en la versió definitiva és a dir, utilitzant el ID.

Per acabar es crida la funció que para la vibració del motor i fa parpellejar el LED d'equip en disparar, d'aquesta manera quan activem aquestes dues característiques als seus corresponents moments, aquesta darrera tasca que s'executa cada un cert interval de temps permet recuperar l'estat de repòs dels perifèrics sense haver d'utilitzar una funció d'espera (*delay()*) i sacrificar tot el codi per la interrupció que suposa. Aquestes tasques controlen el temps abans d'executar-se utilitzen la variable *LocalTimeMs* que funciona amb un *timer* intern i incrementa el seu valor en una desena cada 10 ms i funciona de forma independent al rellotge que es mostra per pantalla.

5.2.3. Funcions especials

La majoria de les funcions implementades en la versió actual són les mateixes que es proposen en el codi definitiu, aquest cop, però es redueixen algunes característiques com el nombre de jugadors i complexitat de joc que en certa manera, simplifiquen les tasques descrites anteriorment. A continuació es comenten algunes funcions ja implementades que com a exemple de l'evolució entre el concepte de versió definitiva i la versió real.

5.2.3.1. Recarregar (reload)

Aquesta funció es crida després de prémer el botó inferior del dispositiu i té l'objectiu de recuperar la munició per poder seguir disparant, sempre que sigui possible. Aquesta tasca s'executarà sempre que hagi passat el temps de recàrrega assignat a cada rol durant el qual, no serà possible disparar mentre s'està recarregant.

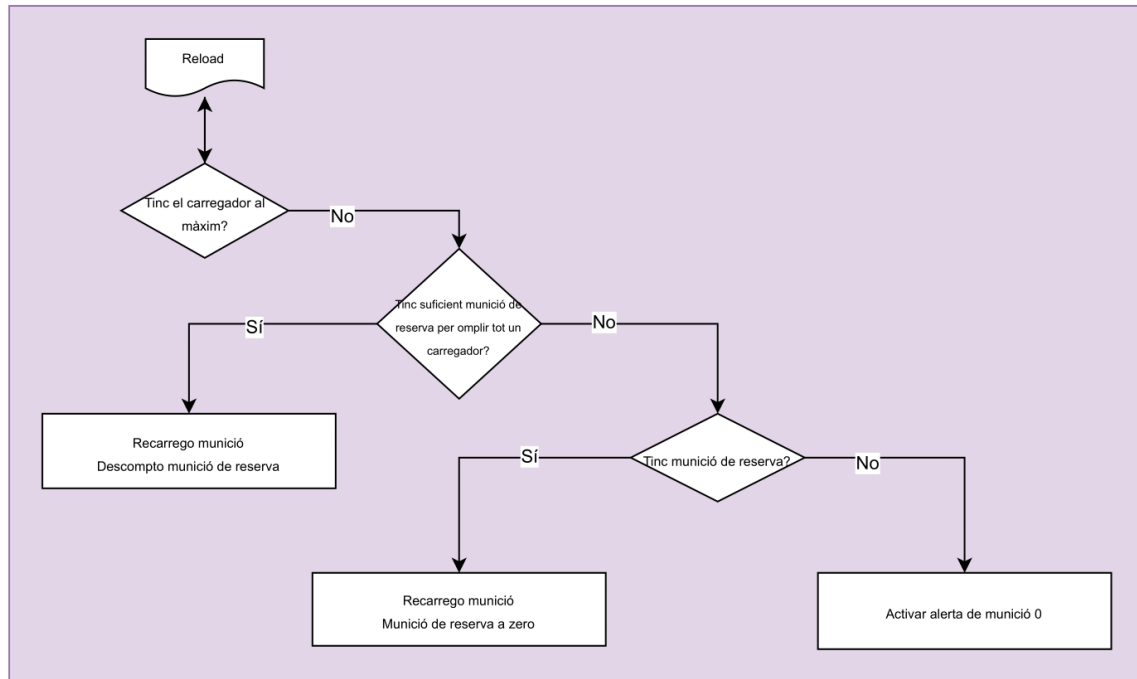


Figura 41. Diagrama de flux reload

La recàrrega de munició està complementada amb la funció ininterrompuda *checkAmmo()* que verifica tot el temps si la munició actual és inferior al límit establert que fa saltar l'alerta i a més a més, fa variar el percentatge de verd i vermell dels LEDs de munició presents en la part posterior de l'arma.

5.2.3.2. Comprovar salut (checkHealth)

Aquesta funció, a diferència de l'anterior, s'executa de manera ininterrompuda i comprova constantment si el jugador està mort. En cas afirmatiu es crida la subfunció *killed()* que reinicia variables de joc i envia el participant mort a la pantalla d'espera, però, si seguim amb punts de vida superiors a 0 existeix l'opció de curar-nos. Aquesta característica està inclosa al model de versió definitiva i en la implementació actual funciona de la mateixa manera.

Quan un jugador no té tota la vida, aquesta es restaura automàticament de forma exponencial en el temps permetent així recuperar la vida màxima MaxHealth si no s'ha rebut més mal durant els cicles, en aquest cas es tornaria a començar.

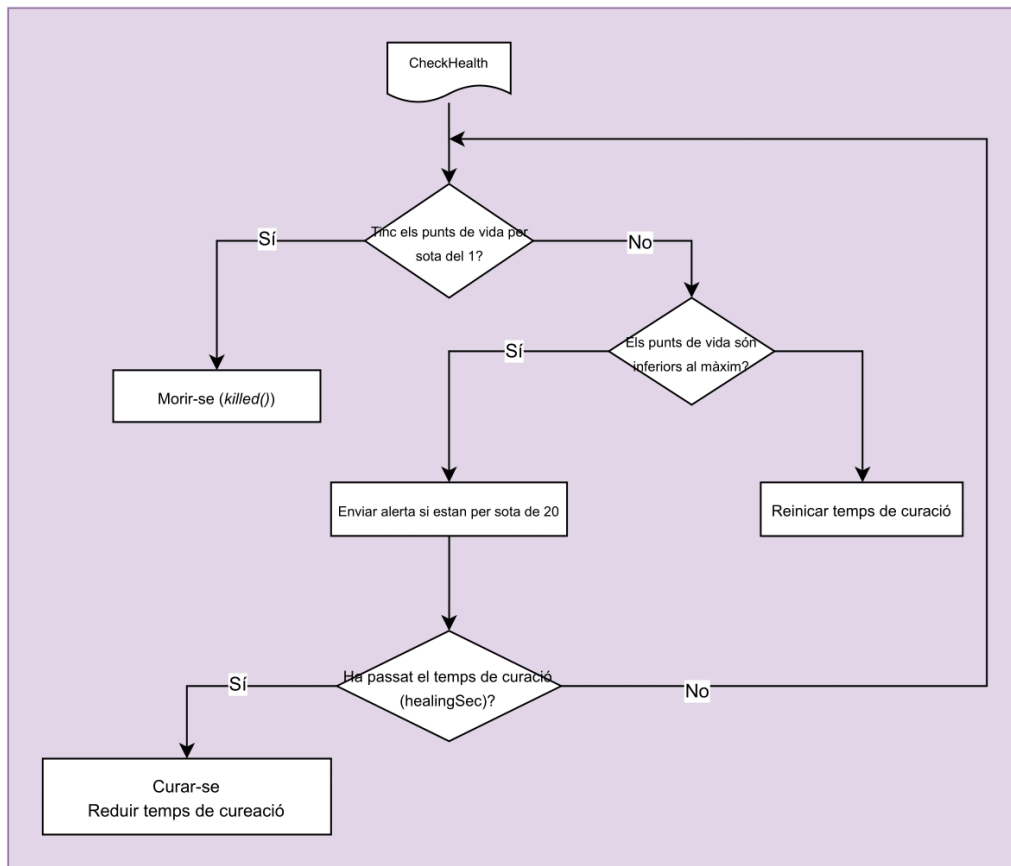


Figura 42. Diagrama de flux checkHealth

A més a més, aquesta funció modifica el percentatge de verd i vermell dels LEDs de vida situats a la part posterior de l'arma juntament amb els indicadors de munició.

5.2.3.3. Escollir rol (setRol)

Quan iniciem una partida sense assignar un rol amb una arma associada. Cada rol te predefinides un valor per diferents variables que condicionaran el dany, la vida, la munició, la potencia i els diferents temps d'espera durant la partida. Sempre existeix la possibilitat de canviar el rol i ho podem fer prement els dos botons al mateix temps, això crearà la pantalla de configuració Weapon_GUI_Screen_Main(ScreenAction_Create) en la qual podrem escollir una nova arma que obtindrem després de reaparèixer el pròxim cop.

En la següent taula es pot veure clarament quines són les variables i característiques de cada rol.

Rol	Cadència (rateSec) [ms]	Dany (damage) [/100]	T. de recàrrega (reloadSec) [ms]	Abast de tir (rangeSet)	Salut màxima (MaxHealth) [/99]
Força	900	40	4000	curt	99
Suport	150	5	1500	mig	75
Assalt	400	10	2000	mig	80
Precisió	-	60	4000	llarg	60

Rol	Munició màxima (MaxAmmo)	Munició màxima de reserva (MaxPack)	Alerta munició baixa (lowAmmo)	Vibració (vibrationLevel) [/100]
Força	2	42	1	100
Suport	16	128	6	40
Assalt	25	200	10	60
Precisió	1	32	-	100

Figura 43. Característiques dels rols

Com es pot veure cada rol té les seves característiques de les quals podem destacar, per exemple que l'últim rol sol disposa d'un tret abans de haver de tornar a recarregar, o com varia el temps de cadència que permet a rols mitjos tenir un mostreig de tir molt més ràpid que els altres dos. Un cop definides aquestes variables — i altres com el seguiment de baixes combo — és molt fàcil fer modificacions i alterar les característiques d'un jugador abans i fins i tot durant la partida, cosa que permet integrar a partir d'aquest punt característiques avançades com les descrites en l'apartat de versió definitiva aprofitant el codi actual i partint d'un firmware base ben sòlid.

6. Funcionalitats

Desglossament de les funcions principals del dispositiu, com funciona i disseny d'interfície d'usuari

6.1. Mode de joc

L'objectiu de la partida és disparar, tocar i eliminar els jugadors rivals de l'equip contrari. Existeixen dos equips representats per dos colors diferents, l'equip vermell i l'equip blau i cadascun d'aquests equips lluitarà per aconseguir la màxima puntuació. Durant la partida tots els jugadors tenen disponible al menú principal els punts acumulats de cada equip —diferenciant els colors amb dues banderes—, aquests punts s'aconsegueixen eliminant jugadors de l'equip contrari i, tot i que en la versió actual no hi ha límit de puntuació, es pot veure en temps real la puntuació dels dos equips i fer un seguiment competitiu que juntament amb el marcador de temps, afavoreix una experiència de joc molt completa. Aquest temps es pot consultar en qualsevol moment, està disponible per sota de les banderes i des del començament de la partida, queda coordinat amb la resta de dispositius.

6.2. Rols i selecció

Els rols són paquets de característiques que defineixen un tipus de jugador. Cada participant té disponible quatre rols diferents que pot escollir i canviar durant la partida i cadascun d'aquests, ofereix una experiència de joc única. Els rols disponibles a la versió actual són:

- Força
- Suport
- Assalt
- Precisió

Segons el rol escollit el teu dispositiu tindrà unes característiques o unes altres, entre les quals trobem aspectes com el dany, l'abast de tir o la munició que quedaran definits segons aquesta elecció. Cada rol té disponible un tipus d'arma que es pot seleccionar mitjançant el menú de selecció de rol i posteriorment, després de reaparèixer s'aplicaran els canvis. Aquest procés es pot realitzar de forma il·limitada en qualsevol punt de la partida mentre no estiguem eliminats. Tot seguit es mostren les variables que depenen del rol escollit i quins són els balanços actuals en cada cas:

- Cadència: interval de temps després de realitzar un tret durant el qual no podem tornar a disparar.
- Dany: reducció de vida que és dura a terme al jugador rival per un tret enemic.

- Temps de recàrrega: interval de temps després de du a terme una recàrrega de munició durant el qual no podrem disparar.
- Abast de tir: potència de tirque permet allargar la distància a la qual arriben els trets d'un dispositiu, pot ser curt, mig o de llarg abast.
- Salut màxima: punts de vida que un jugador tindrà a l'estar 100% curat.
- Munició màxima: capacitat del carregador per realitzar un nombre determinat de trets abans de canviar-lo.
- Munició màxima de reserva: capacitat total de munició de la qual disposa un jugador.

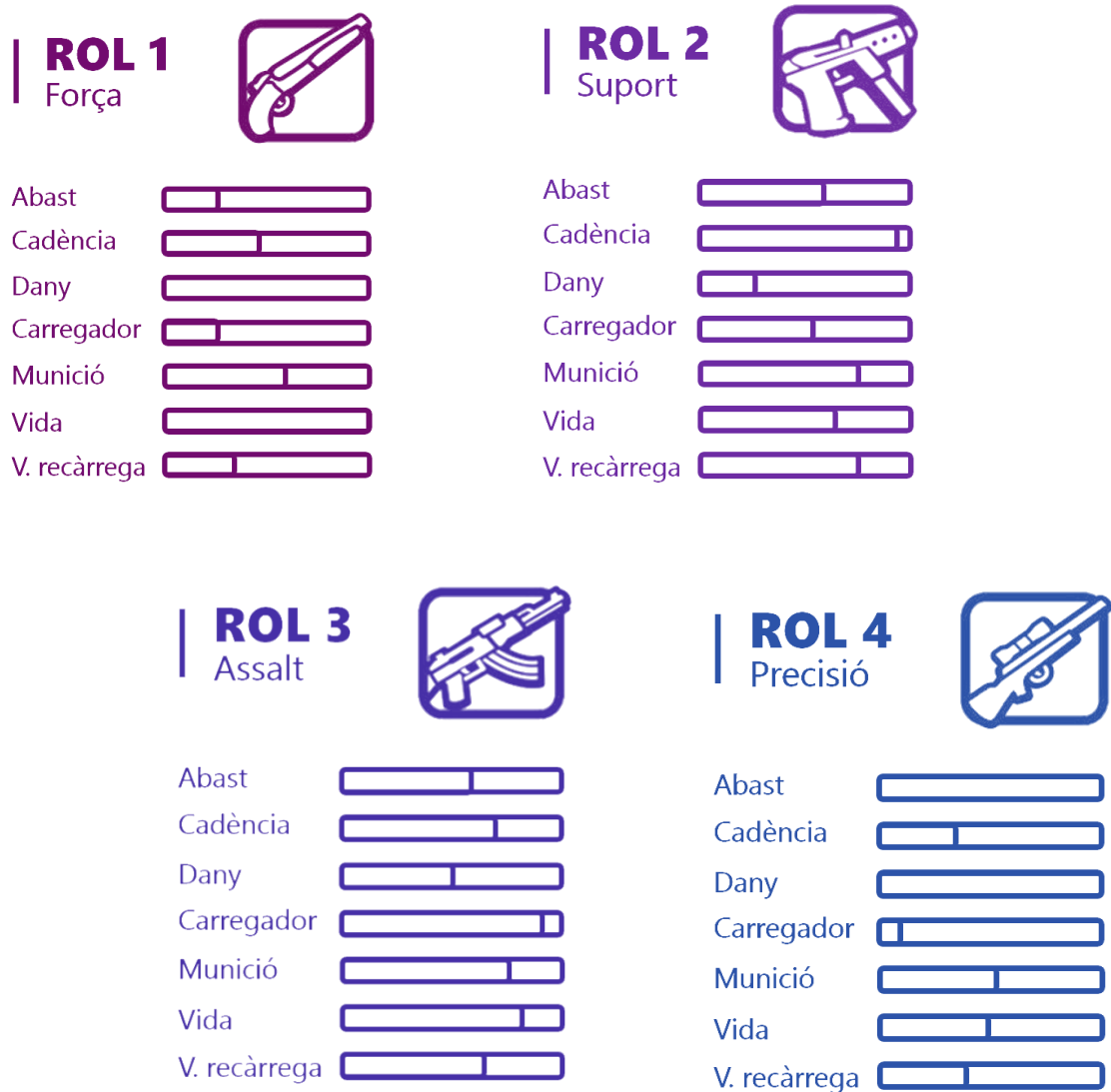


Figura 44. Resum dels rols

6.3. Interacció amb l'usuari

El dispositiu consta de dos únics botons que segons el moment i la situació ens trobem durant el transcurs de la partida tindran un efecte o un altre. A més a més disposa de diferents sistemes d'il·luminació LED que indiquen circumstàncies i notificacions importants que requereixen la nostra atenció, juntament amb la pantalla que representa la font principal d'informació per tots els esdeveniments de la partida. En el següent diagrama es poden veure els diferents perifèrics d'interacció entre la pistola i el jugador:



Figura 45. Perifèrics d'interacció

- | | | |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1) Indicador de munició | 2) Llum d'equip | 3) Selector de mode |
| 4) Indicador d'impacte | 5) Botó de disparar/acceptar | |
| 6) Botó de recàrrega/selecció | 7) Indicador de salut | 8) Posada en marxa |

Botó de recàrrega/selecció: durant la partida es pot recarregar la munició de l'arma i utilitzar com a *next button* durant la selecció de rol. Mantenir el polsador premut no té cap efecte.

Botó de disparar/acceptar: durant la partida s'utilitza per propagar un tret, també té la funció de donar una selecció com a vàlida, és a dir, acceptar el rol seleccionat en la pantalla de configuració.

Llum d'equip: s'il·lumina amb el color de l'equip al qual pertany el portador de l'arma. També parpelleja cada cop que es dispara l'arma.

Llum d'impacte: indica que el jugador portador ha rebut un tret d'un jugador rival. Durant la pantalla de mort aquesta llum es mantindrà oberta de forma simbòlica.

Indicador de salut: aquest LED varia del verd al vermell en funció del nivell de vida del jugador portador, sent verd la representació de bona salut.

Indicador de munició: indica els nivells de munició del carregador mitjançant el color verd (màxim) i de forma regular el vermell quan ens quedem sense.

Interruptor de posada en marxa: encén el dispositiu o l'apaga segons l'estat en què es troba. Té dos estats estan en un d'ells més enfonsat (ON).

Selector de mode: permet activar el mode d'estalvi energètic que redueix la brillantor de la pantalla, la intensitat de vibració i el volum de l'altaveu.

Altaveu: dins el dispositiu, reproduïx diferents melodies per avisar dels esdeveniments actuals de la partida (consultar Annex).

Pantalla: mostra tota la informació de forma numèrica juntament amb il·lustracions gràfiques per completar l'experiència de joc amb un disseny simplificat i funcional.

6.4. Pantalles

Tots els diferents models de pantalla disponibles en la versió actual del dispositiu han estat ideats, dissenyats i programats en exclusiva per aquest projecte així doncs, s'han tingut en compte tota mena de detalls i no s'ha escatimat en funcionalitat tot i l'alta complexitat de treball, que aquest apartat representa. Concretament parlem de les icones d'alerta, els models de rol i la font de cal·ligrafia estil "digital" emprada durant el disseny, tots aquests al·licients s'han extret de fonts externes i adaptat — seguint procediments poc àgils— fins a aconseguir integrar-los a la interfície gràfica final; tot i haver hagut sempre l'opció d'optar per fonts "predefinides" o no incloure imatges complexes de mides diferents, s'ha apostat per la qualitat gràfica i el resultat final és molt satisfactori.

6.4.1. Menú principal

Un cop iniciades i sincronitzades, les pistoles entren a la partida i podem veure el menú principal o menú de joc d'ara endavant mentre el jugador no caigui eliminat per un rival. Aquesta pantalla mostra la munició actual de carregador i la munició de reserva, la vida actual i el total que correspongui al nostre rol, la puntuació d'ambdós equips, un marcador ascendent de temps de joc i l'arma actual del portador. A més a més i de forma temporal, pot aparèixer a la part superior dreta de la pantalla algunes alertes que simbolitzen els següents estats:

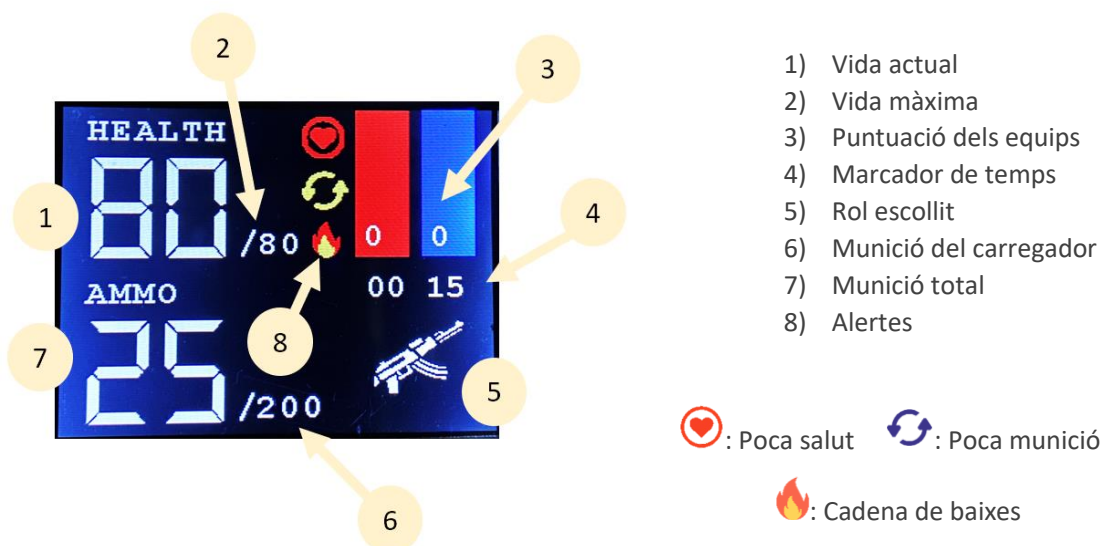
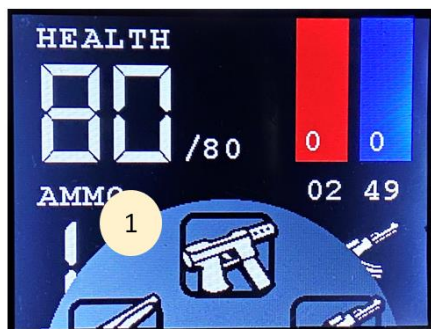


Figura 46. UI Menú d'inici

6.4.2. Selecció de rol

Durant la partida podem optar per canviar el rol actual per un dels altres tres disponibles, en aquest cas cal mantenir premuts els dos botons del dispositiu i seguidament, s'accedeix a la pantalla de configuració o selecció de rol que queda superposada amb el menú principal. En aquest espai el jugador podrà escollir un nou rol movent les armes disponibles amb el botó de recàrrega/selecció i finalment, quan el rol desitjat surti a la posició central, es pot seleccionar definitivament amb el botó de disparar. Seguidament es retornarà al menú principal.



1) Roda de selecció

Cada cop que premem el botó de recàrrega/selecció fem girar la roda i l'arma superior canvia. Cada arma representa un dels quatre rols disponibles.

Figura 47. UI menú de configuració

6.4.3. Pantalla de mort

Quan la vida d'un jugador arriba a zero, aquest jugador accedirà de forma immediata a la pantalla de mort durant la qual, haurà d'esperar a que passi el temps de reaparició que es mostra per pantalla. Durant aquest interval de temps, es restaura tota la salut i munició de l'usuari així com en cas que fos necessari, s'assigna el nou rol escollit que

tindrà efecte en reaparèixer a continuació, quan es torna a la pantalla de joc i l'equip contrari a sumat un punt.



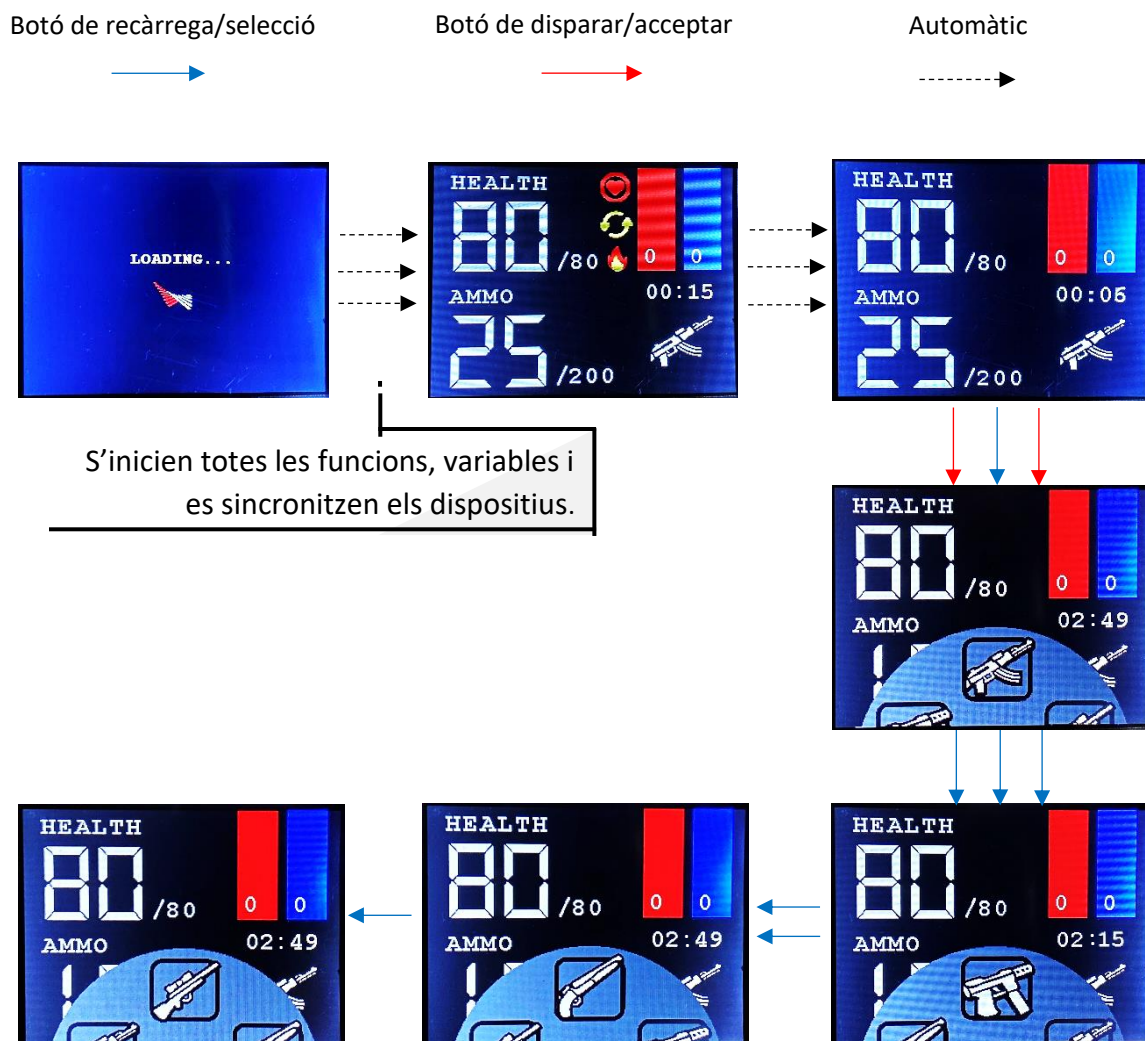
1) Temps de reaparició

Per defecte aquest temps de reaparició està programat que sigui de 9 segons.

Figura 48. UI Pantalla de mort

6.4.4. Totes les interfícies

Seguidament es mostra un esquema seqüencial amb totes les pantalles ordenades per interacció des que s'inicia un dispositiu i durant tot el transcurs possible entre els diferents menús.



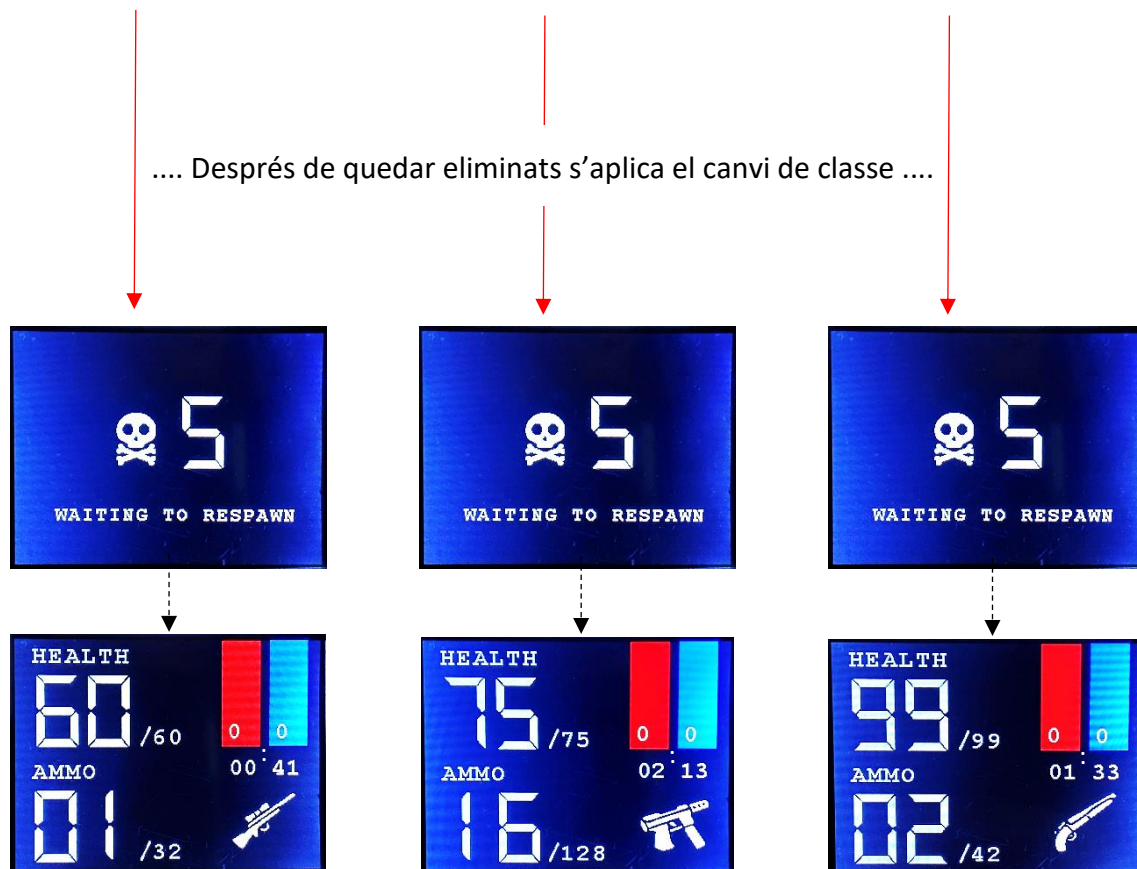


Figura 49. Pantalles segons interacció

6.5. Pròximes funcionalitats

L'objecte d'aquest treball es basa en el funcionament mínim i necessari del sistema lasertag i arribats en aquest punt, es desplega un gran ventall de possibilitats a nivell de programació, ja que els aspectes de hardware són molt potents i el programa bàsic sol aprofita algunes característiques de tot el potencial disponible. És ara quan es pot millorar i estendre les característiques del dispositiu, ja que totes les bases d'electrònica —components, carcassa, cablejat, potència, llibreries, PCB— i software —llibreries, protocols, funcions, UI i format— estan definides i implementades. Tal com s'explica en l'apartat de software on es defineixen les pròximes funcionalitats del dispositiu, el firmware evoluciona de manera substancial oferint principalment tres blocs nous de funcionalitats: la creació de partides personalitzades, l'expansió de característiques de joc i el resum d'estadístiques.

Abans de tenir el prototip de les pistoles operatiu es van definir aquestes característiques "finals" que podria assolir el projecte a llarg termini, aquestes idees es van anotar a la full de ruta i es poden consultar a l'apartat d'annexos. Principalment es detallen les característiques d'expansió, que de forma resumida podem dir que són la implementació d'un sistema de recompenses permanents —denominades com "objectes"— que es sortegen entre els integrants de la partida durant el temps de joc i les accions, que ofereixen millores temporals als jugadors que aconseguixen encadenar

un seguit de punts sense quedar eliminats. Aquests dos conceptes d'objectes i accions, juntament amb els modes de joc consten des dels inicis del projecte a la full de ruta i són una proposta a llarg termini per implementar al firmware. A continuació s'exposen en detall les funcions d'aquests nous conceptes.

6.5.1. Objectes

Els objectes són millores que duren tota la partida i s'entreguen de forma aleatòria a tots els jugadors des del principi fins al final del temps de joc. Cada acció té una probabilitat de sortir concreta en funció de l'avantatge que suposa, existeix l'opció de sortir repetides i es reparteixen en intervals indefinits. Els objectes proposats s'exposen a continuació i estan ordenats de major a menor probabilitat de sortir escollits pel programa:

- Curació instantània
- Munició renovada
- Augment capacitat cartutx
- Augment velocitat recàrrega
- Augment cadència
- Reducció temps de reaparició
- Disminució volum sons
- Educació temps de recuperació
- Augment dany
- Augment salut
- Millora acció³

6.5.2. Accions

Les accions són bonificacions que donen avantatges temporals al jugador que les aconsegueix. Segons el rol escollit, es poden activar accions concretes seguint un ordre amb dificultat ascendent segons el número de baixes enemigues obtingut durant la mateixa vida, cada rol té tres accions i cada acció és més potent que l'anterior requerint una ratxa superior cada cop que s'assoleix la recompensa.

- Acció 1 → Dos baixes seguides
- Acció 2 → Cinc baixes seguides
- Acció 3 → Vuit baixes seguides

³ Augmenta el temps de duració dels efectes de les accions disponibles independentment del rol escollit.

En la següent taula es pot veure clarament quines són les combinacions d'accions definides en funció del rol escollit. Com es pot observar, les noves funcions inclouen un nou rol de mig-llarg abast que no està present en el dispositiu prototip i que utilitzaria la configuració d'abast mitjà amb una cadència inferior que els dos rols mitjans inferiors. Totes les següents accions es poden implementar aprofitant tot el desenvolupament tant de hardware com de software actual, sense haver de realitzar canvis estructurals en ambdós sectors.

Rols	Accions (/10)
Curt	Tir únic – Verí – Resurrecció
Mig- curt	Cura – Hack – Velocitat
Mig	Cactus – Suport – Bloqueig
Mig-llarg	Escut – Metge – Assalt
Llarg	Radar – Fantasma – Bombardeig

Figura 50. Rols nova versió

Acció	Posició	Descripció	Comunicació ⁴
Radar	1	Les pistoles dels rivals emeten un so constant per poder ser localitzats.	RF
Hack	2	Es desactiva la pantalla dels jugadors rivals.	RF
Metge	2	Curació instantània dels aliats en disparar-los.	IR
Verí	2	El jugador disparat segueix perdent vida després del primer impacte.	IR
Resurrecció	3	Temps de reaparició reduït.	-
Suport	2	Dany instantani a l'últim rival que has disparat i tocat	RF
Cura	1	Es recupera tota la salut	-

⁴ La comunicació és la metodologia que s'utilitza a nivell intern per activar l'efecte de l'acció. Algunes habilitats modifiquen les variables de joc del mateix jugador mentre que altres accions utilitzen el díode infraroig IR o el mòdul de ràdio RF per comunicar als jugadors afectats les modificacions temporals que han d'actualitzar al seu firmware.

Bloqueig	3	L'arma del proper rival disparat i tocat no pot recarregar.	IR
Tir únic	1	El proper rival al que disparis pot perdre tota la vida d'un tret.	-
Escut	1	Puja la salut.	-
Velocitat	3	Temps de recuperació, cadència i recàrrega millorats	-
Assalt	3	Munició il·limitada amb l'avantatge de no haver de recarregar.	-
Cactus	1	Els jugadors que t'han disparat i tocat reben mal proporcional.	RF
Fantasma	2	Immune als efectes del radar, so, llums i vibració desactivats.	-
Bombardeig	3	Dany instantani a tots els jugadors rivals	RF

Figura 51. Accions nova versió

6.5.3. Modes de joc

Ben entrats a la fase creativa del projecte, es proposen les següents modalitats de joc que podrà escollir el creador de la partida abans de començar el joc. Aquestes modalitats es divideixen en dos grups segons si són individuals o per equips; pel que fa al codi aquest factor no modifica en gran manera l'algorisme proposat, ja que sol afecta el bloc 1 del firmware. Per una banda la modalitat individual sol està disponible si els integrants d'un grup tenen tots colors diferents, per altra banda la modalitat per equips sols està disponible si s'han escollit entre tots els jugadors del mateix grup, dos colors diferents com a màxim. Posteriorment l'únic component de codi que varia és la forma de puntuar, ja que en les modalitats individuals no s'utilitza la variable puntuació[] de dues columnes sinó que la puntuació de cada jugador, s'extreu directament de les baixes que es guarden a la variable dades[] i per pantalla es mostra les baixes del mateix jugador i les del jugador amb més punts. Les modalitats proposades són:

- Batalla (equip/individual): guanya l'equip que assoleix un determinat nombre de baixes totals amb un temps límit i reaparicions infinites.
- Duel (equip/individual): guanya l'equip que assoleixi un determinat nombre de rondes superades. Cada ronda dura fins que tots els jugadors d'un mateix equip han quedat eliminats. Sense temps ni reaparicions per ronda.

- Plaga (equip): es juga amb dos rols fixats que divideixen els jugadors en dos grups, els infectats i els no infectats. S'escull un jugador zero que ha d'eliminar els altres i posteriorment, aquest canvien de rol. Límit de temps. Sense objectes ni accions.
- Joc de rols (individual): Cada baixa canvia el rol del jugador. Guanya el primer jugador que arriba a l'últim rol. Sense objectes ni accions.

6.5.4. Creació de partida

Per altra banda tenim una de les característiques més potents que pot assolir el nostre dispositiu i es tracta ni més ni menys, de l'agrupació de diferents jugadors i les seves respectives armes en grups privats per portar a terme sessions de joc personalitzades. Utilitzant el mòdul de ràdio es connecten diferents dispositius que en funció de si el jugador vol crear o unir-se a un grup existent, es distribueixen els participants en sales privades que posteriorment aïllaran les comunicacions d'un grup per evitar encreuaments de senyal amb altres dispositius. Aquesta funcionalitat serà possible principalment gràcies al mòdul RF que incorporen totes les PCB i treballarà a partir d'unes dades inicials que els jugadors trien cada cop que es reinicia l'arma. Estem parlant del nom i color d'equip.

- **Nom:** el nom és l'etiqueta que associa una persona amb un jugador i el seu respectiu rol durant qualsevol sessió de joc. De forma predefinida es deixa escollir un nom just després d'engegar el dispositiu.
- **Equip:** de la mateixa forma que un jugador tria el seu nom, posteriorment haurà d'elegir el color d'equip al qual anirà associat durant la partida —si la modalitat de joc no és per equips, el color de l'arma sol serà decoratiu—. Les pistoles originals sol tenien la possibilitat d'oferir tres colors: vermell, blau o lila, ja que el component que utilitzen era bicolor. Amb el dispositiu que hem desenvolupat, el LED encarregat d'il·lustrar l'equip es RGB i funciona amb PWM de forma individualitzada, és a dir, la paleta cromàtica del nou model té disponible tots els colors. D'aquests — els colors predefinits— se'n tria un cada cop que reiniciem l'arma.
-

Amb aquestes dues dades i un codi aleatori associat a un grup de jugadors concret, es crea la identificació (ID) única de cada jugador i aquesta s'utilitzarà posteriorment durant el temps de joc per discriminar les interaccions de ràdio i infrarojos entre tots els dispositius disponibles. A l'apartat de software està disponible el funcionament de l'algorisme de creació de partida dins el bloc 1 de codi.

6.5.5. Estadístiques

Dins el bloc tres de l'algorisme proposat entren en joc les estadístiques recopilades durant la partida. Aquestes s'allotgen a la variable *dades[]* que és una matriu d'informació de 12 files per 4 columnes i emmagatzema el seguiment de tots els jugadors sent la primera columna del nom dels jugadors, la segona guarda el color d'equip, seguidament es guarda les baixes i al final les morts.

Jugador1	Vermell	4	6
Jugador1	Vermell	9	2
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
Jugador12	Blau	5	4

Figura 52. Matriu d'estadístiques dades[]

Aquesta informació s'actualitza en temps real durant la partida, ja que de forma predefinida s'informa a tots els jugadors per RF qualsevol baixa i el responsable de la mort, d'aquesta manera tothom sap qui a mort i qui ha matat a un jugador. Després del temps de joc es mostra la informació més rellevant de la partida per pantalla a tots els integrants d'un grup seguint l'algorisme del bloc 3 present a la secció de programació.

7. Muntatge

Procés de muntatge de la PCB amb tots els seus components. Integració de la pantalla i col·locació final dins el dispositiu.

7.1. Preparació del material BOM

Després d'enllestir tot el disseny de l'electrònica cal preparar la llista de materials necessaris per realitzar el muntatge de la PCB, aquests components interns majoritàriament es tracten de resistències i condensadors tot i que també ja un nombre elevat de components actius com transistors NPN, PNP i mosfet. A més a més trobem a la llista altres materials minoritaris com díodes, cristalls —pels rellotges externs— i un LED encastat, seguidament tenim elements especials que ocupen un major espai a la PCB, per una banda s'ha integrat l'estabilitzador de voltatge de 3.3V, el microcontrolador, el mòdul de ràdio, els diferents botons i els connectors laterals. Tots aquests components estan adjunts a la llista BOM (Bill of Materials) juntament amb les especificacions tècniques i logístiques oportunes, com el número de producte del fabricant i el número de producte del proveïdor, que en el cas d'aquest projecte ha estat majoritàriament el distribuïdor anglès RS. Aquesta informació s'ha afegit a la llista curosament element per element i consultant al mateix temps la web de RS per comprovar l'estoc i la quantitat mínima que es pot demanar, ja que aquestes tasques estan dirigides al sector industrial amb lots de compra molt per damunt del requerit per aquest projecte.

7.2. Llista de connexions MCU

De la mateixa manera que s'ha elaborat el BOM, per tal de mantenir l'ordre i oferir un resultat més professional s'han resumit totes les connexions plantejades als esquemes electrònics del disseny en una mateixa full de càlcul a fi de verificar i tenir controlats tots els pins i les funcions que ofereixen. D'aquesta manera la coordinació entre software i hardware es pot mantenir actualitzada mirant aquest full i en cas d'haver-hi problemes amb algun pin, és més fàcil canviar la configuració del programa per solucionar errades de disseny —el qual un cop imprès, no es pot modificar—. Consultar annex.

7.3. Soldadura

Abans de començar a soldar la PCB, s'ha comprovat que tot el material estigues present i s'ha separat i ordenat per valors tal com està ficat al BOM, d'aquesta manera es pot tenir a punt per a quan faci falta durant el procés de muntatge. Seguidament s'han soldat els components de forma manual directament a la placa utilitzant un equip de soldadura professional de la casa JBC. Primerament se solda el microcontrolador (MCU)

amb l'ajuda de flux, una solució especial que s'aplica amb un pinzell per distribuir correctament l'estany als diferents pads.

Tot i que el disseny consta de dues cares on ambdues disposen de resistències i condensadors, s'han soldat primerament tots els components passius a la capa posterior i en acabat s'han integrat a la superior —que és la capa que conté la pantalla—. Aquest component juntament amb els díodes, són els de menor mida i requereixen una precisió força alta per soldar-los manualment, ja que amb prou esforços es veuen a simple vista. La tècnica emprada per soldar aquests components ha estat la següent: En primer lloc és buscat el pad —piscina metàl·lica on es situa la part conductora del component— més accessible i preferentment, un que no estigui connectat a terra i és calenta amb la punta del soldador, seguidament sense llevar-lo es fon una poca quantitat d'aliatge d'estany amb plom sobre el pad fins que la tensió superficial formi una esfera brillant.

Es retira el soldador i s'apropa un pad del component a soldar de forma que vagi dirigit al pad amb estany tal com es veu al diagrama inferior, en aquest punt es fon l'esfera i és situat el component al seu lloc adreçant-lo amb el/els pads restants. Finalment és calenta les connexions restants i s'afegeix estany.

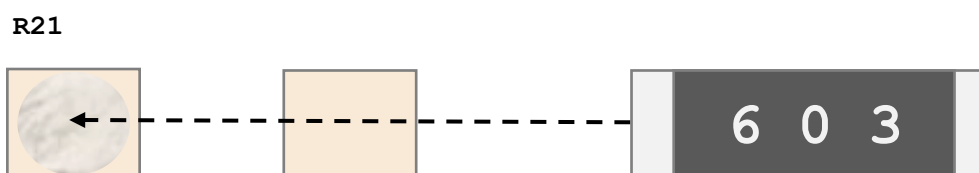


Figura 53. Procés de soldació

Després de soldar els components passius i els díodes, s'han integrat els transistors i els connectors de programació. I per acabar es solden la resta de components grans, els mòduls i els connectors JST —serveixen per poder connectar els perifèrics externs de forma còmoda i accessible—.

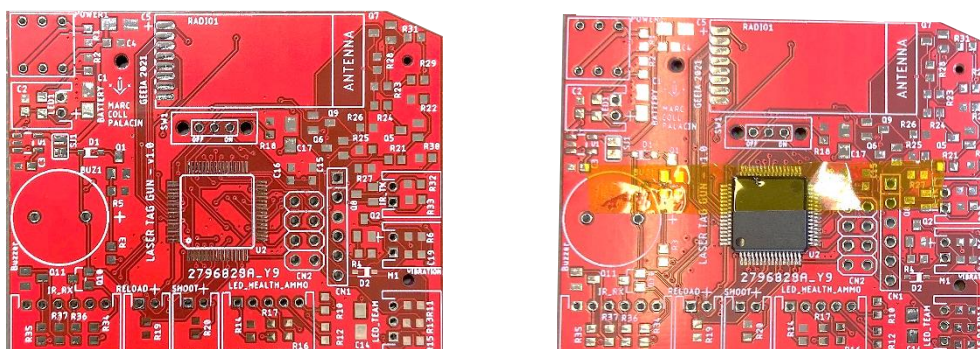


Figura 54. Cara posterior de la PCB neta i MCU presoldat

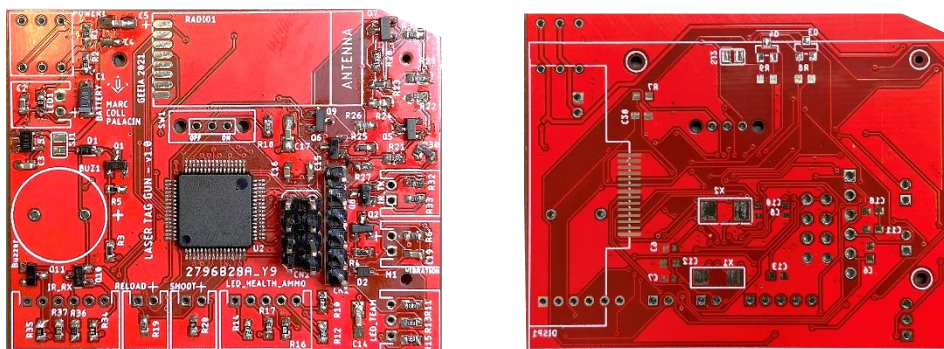


Figura 55. Cara posterior PCB amb components soldats i cara davantera neta

7.4. Posada en marxa

Per poder verificar que la part de potència de la PCB funciona i no pot fer malbé la resta de components de la qual en deriven, s'utilitzen els *jumpers* que són bàsicament dos pads junts però actuant com a circuit obert. Utilitzant una font d'alimentació externa a 5V es connecta el dispositiu i es mira amb un multímetre la diferència de tensió entre els pins de l'interruptor principal, en veure que són correctes i evidentment el botó talla el corrent extern es solda el primer *jumper* i es tanca el circuit. En aquest punt el MCU queda alimentat per 3.3V i mitjançant els connectors de programació es verifica que la placa interacciona de forma satisfactòria amb el programari base de ST. Com que tot a resultat funcionar de la forma esperada i el consum és correcte (10mA), podem passar a soldar la pantalla per la part posterior de la placa.

De la mateixa manera que s'ha soldat el microcontrolador en primer lloc, s'utilitza flux i estany per soldar la pantalla i finalment acabar la placa. Cal destacar que donat que la cara superior de la PCB conte components sobre els quals no es pot recolzar la pantalla, s'utilitza un coixí esponjós de seguretat entre ambdues cares, d'aquesta manera la pantalla queda correctament fixada i a més a més, s'eleva, fet que és de gran utilitat perquè redueix el clot que queda entre la paret exterior de la pistola i la pantalla.

7.5. Integració final

Per acabar el projecte es substitueix l'altaveu original pel vibrador nou [a] utilitzant en aquest projecte, de la mateixa manera que intercanviem el LED d'equip del fabricant per un nou LED RGB [b] capaç de reproduir tots els colors, es col·loca la placa amb la cara inferior —on estan la majoria de components— mirant a sota i la pantalla per damunt. Com que es va dissenyar seguint la geometria original de les pistoles, es poden aprofitar els mateixos forats i caragols per fixar la nova PCB sobre la base interna de l'estructura de l'arma. Un cop fixada la placa, s'assegura definitivament la pantalla sobre el coixí espumós amb cinta de doble cara i es connecten els diferents perifèrics utilitzant els connectors JST disponibles. Finalment es col·loca la part restant de l'estructura

encaixant el forat amb el marc [c] i la pantalla. Per guarnir les bores retallades del dispositiu on actualment està la pantalla, s'ha dissenyat un marc amb el programa *Fusion 360*⁵ d'Autodesk i després d'imprimir-lo, s'utilitza com a frontera entre la pantalla i el forat superficial, d'aquesta manera la pantalla queda protegida i ben subjecta.

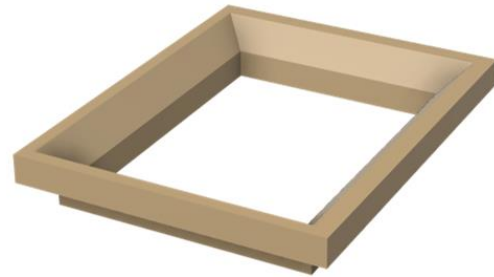


Figura 56. Marc 3D

Les següents il·lustracions mostren l'aspecte intern definitiu del dispositiu així com el mateix amb l'estructura tancada:

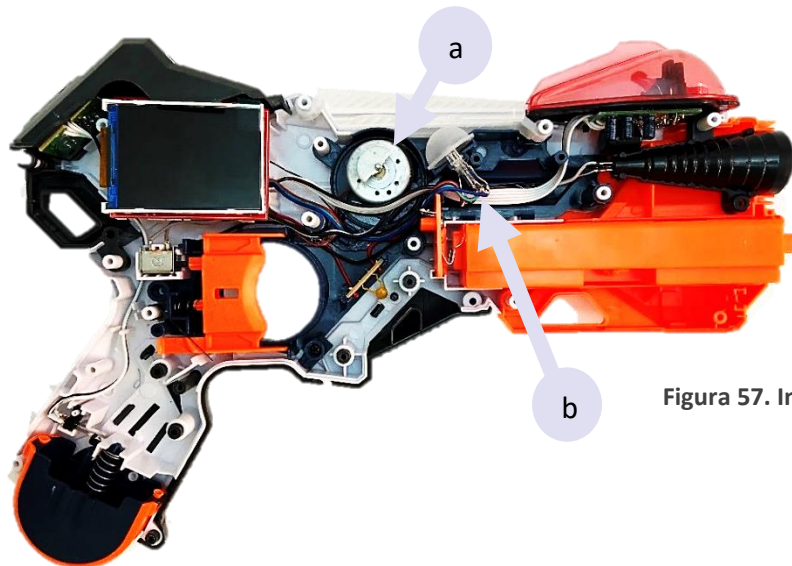


Figura 57. Interior del dispositiu

- a) Vibrador *Dualshock 3*
- b) LED RFB càtode comú
- c) Marc de protecció



Figura 58. Cara interna dispositiu muntat

⁵ Software de modelat 3D per realitzar estructures, mecanismes i peces en tres dimensions. Les versions més recents integren Fusion 360 amb Eagle, cosa que ha permès realitzar el model 3D de la PCB.

8. Conclusions

Aquesta modalitat de treballs, que tendeixen més a projecte, no considero que tinguin un final absolut ja que un cop s'han assolit els objectius, el projecte pot seguir desenvolupant-se i créixer sense limitacions. Aquest treball és un d'aquests casos i tot i haver arribat fins aquest apartat, es té la sensació que tot just el projecte comença a prendre forma i s'hi poden veure clarament definits, els resultats de mesos de molta feina i exclusiva dedicació.

Cal afegir que el desenvolupament del producte ha estat sempre limitat pels coneixements de l'autor, que durant el mateix període de redacció i disseny del treball, ha estat aprenent com funciona el món dels microcontroladors, la integració i el firmware. Quan finalment ja s'ha assolit el nivell necessari per tirar endavant el projecte, els límits restants per acabar el treball s'ha anat apropant ràpidament i tot i haver aconseguit una gesta espectacular, amb uns mesos més s'hagués pogut evolucionar el dispositiu a un altre nivell. És cert que s'ha aconseguit desenvolupar tota l'electrònica, soldar tots els components i integrar els perifèrics, desenvolupar tot el programari amb una interfície professional i sense recursos de lliure disposició, s'ha dissenyat en exclusiva un àlbum de melodies i tot un conjunt de pantalles molt netes i funcionals, s'ha reenfocat el funcionament de les pistoles Nerf originals i a més a més, han quedat per escrit tot un ventall de noves possibilitats que es poden integrar directament a partir de noves versions de firmware, ja que mai s'ha reduït les possibilitats del hardware tot i saber que potser no es podria donar-li un ús a curt termini.

Tots aquests objectius superats són una gran notícia, però considero que en cap cas justifiquen la feina que suposa dur-los a terme fora de l'àmbit industrial, ja que la càrrega de temps que suposa desenvolupar aquest tipus de projecte tan personalitzat i utilitzar entorns de treball destinats a la indústria, no pot compensar els resultats que es puguin obtenir, tot i que evitament en aquest cas són força satisfactori. Existia des del començament l'opció de realitzar el treball utilitzant Arduino i no un microcontrolador independent, però donat que aquest darrer quadrimestre s'ha treballat la integració, ST i TrueSTUDIO es va optar per seguir aquesta via. És cert que amb Arduino s'hagués pogut avançar des del primer dia i possiblement arribar al punt actual amb setmanes d'avanatge però, tota la part d'integració i l'aprenentatge del sector professional que suposa fer-ho de la forma difícil, s'hagués perdut. Considero que no es pot balancejar l'esforç i el temps invertits en el projecte amb l'obtenció de resultats, però és cert que finalment t'has de quedar amb l'experiència, l'experiència d'haver treballat de la forma correcta, de la forma que ho faria un enginyer, que casualment és del que es tracta. Enfocant els resultats dins l'entorn de l'aprenentatge, es pot concloure sense cap mena de dubte, que els resultats han estat més que gratificants.

9. Bibliografia

Recull de les diferents fonts consultades per la realització del treball.

- #23999, M. (2013). *Learn Sparkfun*. Consultat el 2021, a <https://learn.sparkfun.com/tutorials/ir-communication/all>
- AnalysIR. (2017). *Github*. Consultat el 2021, a <https://github.com/Arduino-IRremote/Arduino-IRremote/issues/473>
- Bone, M. (2018). *DefProc*. Consultat el 2021, a <https://www.defproc.co.uk/analysis/decoding-nerf-laser-ops/>
- culture, P. (2021). *Wikipedia*. Consultat el 2021, a https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_tag
- culture, P. (2021). *Yumping*. Consultat el 2021, a <https://www.yumping.com/laser-tag/barcelona>
- Electrónica, M. (Director). (2018). *¿Cómo funciona el control infrarrojo?* [Pel·lícula]. Bizkaia: YouTube. Consultat el 2021, a <https://www.youtube.com/watch?v=l1QYGI-ZFWo>
- Florian, F. B. (2019). *GitHub*. Consultat el 2021, a <https://github.com/open-laser-tag/tagger>
- Hasbro. (2017). *Searchable FCC ID Database*. (Kei, Ed.) Consultat el 2021, a <https://fccid.io/RS4-E2281/Schematics/Circuit-Diagram-3897760>
- Industries, J. (2010). *Instructables*. Consultat el 2021, a <https://www.instructables.com/Duino-Tagger/>
- Lie, R. (2014). *Mobilefish*. Consultat el 2021, a Tutorial about RTTTL specification: https://www.mobilefish.com/tutorials/rtttl/rtttl_quickguide_specification.html
- Paul Falstad, I. S. (sense data). *Laboratori de Robòtica*, 8.4.6. (R. Laboratory, Editor, & U. o. Lleida, Productor) Recollit de <http://robotica.udl.cat/simulador/>
- Precision Microdrives. (2017). *Products*. Consultat el 2021, a <https://www.precisionmicrodrives.com/vibration-motors/coin-vibration-motors/>
- RS Components. (sense data). *RS*. Consultat el 2021, a <https://es.rs-online.com/web/>
- SHANGHAI TIANMA MICRO-ELECTRONICS . (2011). *TM022HDH26 Datasheet*. Consultat el 2021, a Display: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TM022HDH26_V1.0.pdf
- ST. (Agosto / 2020). *ST Resources*. Recollit de STM32F405xx STM32F407xx Datasheet: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00037051.pdf>
- TimP196. (2018). *Instructables*. Consultat el 2021, a <https://www.instructables.com/Arduino-Lasertag-Project/>

10. Annex

10.1. MCU

MCU Pin Connection

Universitat de Lleida

Project:

Board Name

Board Version

Variant:

MCU GPIO

STM32F405RGT6

1.0

Original

*Possibles alterations

Creation Date:

27/4/2021

11:35:38 AM

Print Date:

08-Jul-21

10:29:06 PM

Peripheral	Name	Pin Number	Pin Name	Alternate Function	Additional function	Mode	Output Type	Pull Up/Down	Speed
Auxiliar	USART2_TX	16	PA2	USART2_TX *	USART2_TX/TIM5_CH3 / TIM9_CH1 / TIM2_CH3 / ETH_MDIO/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	Pull Up	50 Mhz
	USART2_RX	17	PA3	USART2_RX	USART2_RX/TIM5_CH4 / TIM9_CH2 / TIM2_CH4 / OTG_HS_ULPI_D0 / ETH_MII_COL/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	Pull Up	50 MHz
Vibrating Motor	VIBRATOR_PWM	40	PC9	I2C3_SDA	I2S_CKIN/ MCO2 / TIM8_CH4/SDIO_D1 / I2C3_SDA / DCMI_D3 / TIM3_CH4/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	No Pulis	50 Mhz
Radio module	RF_SPI_SCK	55	PB3	SPI1_SCK	JTDO/ TRACESWO/ SPI3_SCK / I2S3_CK / TIM2_CH2 / SPI1_SCK/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	Pull Up	50 Mhz
	RF_SPI_MISO	56	PB4	SPI1_MISO	NJTRST/ SPI3_MISO / TIM3_CH1 / SPI1_MISO / I2S3ext_SD/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	Pull Up	50 Mhz
	RF_SPI_MOSI	57	PB5	SPI1_MOSI	I2C1_SMBA/ CAN2_RX / OTG_HS_ULPI_D7 / ETH_PPS_OUT/TIM3_CH2 / SPI1_MOSI/ SPI3_MOSI / DCMI_D10 / I2S3_SD/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	Pull Up	50 Mhz
	RF_SPI_CSN	58	PB6	I2C1_SCL	I2C1_SCL/ TIM4_CH1 / CAN2_TX / DCMI_D5/USART1_TX/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	Pull Up	50 Mhz
	RF_SPI_IRQ	33	PB12	USART3_CK	SPI2_NSS / I2S2_WS / I2C2_SMBA/ USART3_CK/ TIM1_BKIN / CAN2_RX / OTG_HS_ULPI_D5/ ETH_RMII_TXD0 / ETH_MII_TXD0/ OTG_HS_ID/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	Pull Up	51 Mhz
	RF_SPI_CE	59	PB7	I2C1_SDA	I2C1_SDA / FSMC_NL / DCMI_VSYNC / USART1_RX/ TIM4_CH2/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	No Pulis	50 Mhz
LCD Screen	DIS_ON	20	PA4		SPI1_NSS / SPI3_NSS / USART2_CK / DCMI_HSYNCR / OTG_HS_SOF/ I2S3_WS/ EVENTOUT	IN	Push-Pull	Pull Up	50 Mhz
	DIS_SCK	21	PA5	SPI1_SCK	SPI1_SCK/ OTG_HS_ULPI_CK / TIM2_CH1_ETR/ TIM8_CH1N/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	Pull Up	100 MHz
	DIS_MISO	22	PA6	SPI1_MISO	SPI1_MISO / TIM8_BKIN/TIM13_CH1 / DCMI_PIXCLK / TIM3_CH1 / TIM1_BKIN/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	Pull Up	100 MHz
	DIS_MOSI	23	PA7	SPI1_MOSI	SPI1_MOSI/ TIM8_CH1N / TIM14_CH1/TIM3_CH2/ ETH_MII_RX_DV / TIM1_CH1N / ETH_RMII_CRS_DV/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	Pull Up	100 MHz
	DIS_CS	24	PC4		ETH_RMII_RX_D0 / ETH_MII_RX_D0/ EVENTOUT	OUT	Push-Pull	No Pulis	50 MHz
	DIS_DC	25	PC5		ETH_RMII_RX_D1 / ETH_MII_RX_D1/ EVENTOUT	OUT	Push-Pull	No Pulis	50 MHz
	DIS_PWM	26	PB0		TIM3_CH3 / TIM8_CH2N/ OTG_HS_ULPI_D1/ ETH_MII_RXD2 / TIM1_CH2N/ EVENTOUT	AF	Push_Pull	No Pulis	50 MHz
	DIS_RST	27	PB1		TIM3_CH4 / TIM8_CH3N/ OTG_HS_ULPI_D2/ ETH_MII_RXD3 / TIM1_CH3N/ EVENTOUT	OUT	Push-Pull	No Pulis	50 MHz

Programming port	SWCLK	49	PA14	SWCLK	JTCK-SWCLK/ EVENTOUT	IN	Push-Pull	Pull-Down	
	SWDIO	46	PA13	SWDIO	JTMS-SWDIO/ EVENTOUT	I/O	Push-Pull	Pull-Up	
	NRST	7	NRST			IN	Push-Pull	Pull-Up	
Buzzer	BUZZER_PWM	15	PA1	TIM5_CH2	USART2_RTS / UART4_RX / ETH_RMII_REF_CLK / ETH_MII_RX_CLK / TIM5_CH2 / TIM2_CH2/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	Pull Down	100 MHz
User LED	LED_AMMO_G	44	PA11	TIM1_CH4	USART1_CTS / CAN1_RX / TIM1_CH4 / OTG_FS_DM/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	No Pulls	50 MHz
	LED_AMMO_R	43	PA10	TIM1_CH3	USART1_RX/ TIM1_CH3/ OTG_FS_ID/DCMI_D1/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	No Pulls	51 MHz
	LED_HEALTH_G	42	PA9	TIM1_CH2	USART1_TX/ TIM1_CH2 / I2C3_SMB / DCMI_D0/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	No Pulls	52 MHz
	LED_HEALTH_R	41	PA8	TIM1_CH1	MCO1 / USART1_CK/ TIM1_CH1/ I2C3_SCL/ OTG_FS_SOF/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	No Pulls	53 MHz
	LED_EQUIP_R	39	PC8	TIM3_CH3	TIM8_CH3/SDIO_D0 / TIM3_CH3/ USART6_CK / DCMI_D2/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	No Pulls	54 MHz
	LED_EQUIP_G	38	PC7	TIM3_CH2	I2S3_MCK / TIM8_CH2/SDIO_D7 / USART6_RX / DCMI_D1/TIM3_CH2/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	No Pulls	55 MHz
	LED_EQUIP_B	37	PC6	TIM8_CH1	I2S2_MCK / TIM8_CH1/SDIO_D6 / USART6_TX / DCMI_D0/TIM3_CH1/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	No Pulls	56 MHz
	LED_IMPACTE	53	PC12	I/O	UART5_TX/SDIO_CK / DCMI_D9 / SPI3_MOSI / I2S3_SD / USART3_CK/ EVENTOUT	OUT	Push-Pull	No Pulls	
Slide switch	SWITCH	2	PC13	I/O	EVENTOUT	IN	Push-Pull	Pull Down	
Range	SHORT_RANGE	8	PC0	I/O	OTG_HS_ULPI_STP/ EVENTOUT	OUT	Push-Pull	No Pulls	
	MID_RANGE	9	PC1	I/O	ETH_MDC/ EVENTOUT	OUT	Push-Pull	No Pulls	
Buttons	DISPARAR	10	PC2	I/O	SPI2_MISO / OTG_HS_ULPI_DIR / ETH_MII_TXD2 / I2S2ext_SD/ EVENTOUT	IN	Push-Pull	Pull Down	
	RECARREGAR	11	PC3	I/O	SPI2_MOSI / I2S2_SD / OTG_HS_ULPI_NXT / ETH_MII_TX_CLK/ EVENTOUT	IN	Push-Pull	Pull Down	
IR	IR_RX_OUT	30	PB11	TIM2_CH4	I2C2_SDA/USART3_RX/ OTG_HS_ULPI_D4 / ETH_RMII_TX_EN / ETH_MII_TX_EN / TIM2_CH4/ EVENTOUT	AF	Push-Pull	Pull Up	50 MHz
	IR_RX_EN	51	PC10	I/O	UART5_TX/SDIO_CK / DCMI_D9 / SPI3_MOSI / I2S3_SD / USART3_CK/ EVENTOUT	OUT	Push-Pull	No Pulls	
	IR_TX	29	PB10	TIM2_CH3*	SPI2_SCK / I2S2_CK / I2C2_SCL/ USART3_TX / OTG_HS_ULPI_D3 / ETH_MII_RX_ER / TIM2_CH3/ EVENTOUT	AF	Push_Pull	No Pulls	50 MHz

Figura 59. Taula de connexions MCU

10.2. BOM

Universitat de Lleida								
LASER GUNS TFG								
STM32F405RGT6								
1.0								
Original								
27/4/2021	11:35:38 AM							
08-Jul-21	10:34:11 PM							
Value	Device	Package	Description	MANUFACTURER	MANUFACTURER ID	SOURCE	SOURCE ID	Qty
BAT54JFILM	BAT54JFILM	SOD323_ST	BAT54JFILM Schottky barrier diode	STM	BAT54JFILM	RS	880-5260	2
BATTERY	BATTERY	S2B-PH-K-S	BAT	JST	S2B-PH-K-S(LF)(SN)	RS	820-1494	1
BC817-25LT1SMD	BC817-25LT1SMD	SOT23-BEC	NPN Transistor	ON Semiconductor	BC817-25LT3G	RS	690-0076	6
BC857ALT1SMD	BC857ALT1SMD	SOT23-BEC	PNP Transistor	Taiwan Semiconductor	BC817-25 RF	RS	748-4997	2
BUZZER_TH_RS	BUZZER_TH_RS	BUZZER_TH_12	80dB 3V 12mm Trough-Hole Buzzer	RS PRO	RS_171_0869	RS	171-0869	1
20pF	C-EUC0402	C0402	CAPACITOR, European symbol	Murata	GRM1555C1H200JA01D	RS	814-5558	2
6.8pF	C-EUC0402	C0402	CAPACITOR, European symbol	KEMET	C0603C689C5GACTU	RS	147-336	2
100nF	C-EUC0603	C0603	CAPACITOR, European symbol	KEMET	C0603C104K5RACTU	RS	801-5347	7
10nF	C-EUC0603	C0603	CAPACITOR, European symbol	KEMET	C0805C103K5RACTU	RS	264-4371	1
1nF	C-EUC0603	C0603	CAPACITOR, European symbol	KEMET	C0603C102K5RACAU0	RS	170-0056	1
1uF	C-EUC0603	C0603	CAPACITOR, European symbol	KEMET	C0805C105K4RACAU0	RS	170-0054	3
AUX	CON_2X04/2.54	CON_2X4_2.54	2x04 Connector	Stelvio Kontek	613080262822	RS	155-721	1
PGM	CON_SW_D_STM32_2.54	CON_1X06_2.54	STM32 SWD Connector for programming	private	private	private	private	1
10uF	CPOL-EUA/3216-18R	A/3216-18R	POLARIZED CAPACITOR, European symbol	Murata	GRM188R60J106ME84D	RS	884-7242	1
2.2uF	CPOL-EUA/3216-18R	A/3216-18R	POLARIZED CAPACITOR, European symbol	KEMET	T491A225K010AT	RS	538-2284	2
220uF	CPOL-EUA/3216-18R	A/3216-18R	POLARIZED CAPACITOR, European symbol	KEMET	T491A225K010AT	RS	538-2284	2
32.768KHZ	CRYSTAL_ABS10-32.768KHZ_SMD	CRYSTAL_SMD_LOW_PROFILE	CRYSTAL	ABRACON	ABS10-32.768KHZ-7-T	Farnell	2101351	1
8MHz	CRYSTAL_TXC_AA-8.000MALV-T_SMD2	CRYSTAL_SMD_LOW_PROFILE_WIDE	CRYSTAL	TXC	AA-8.000MALV-T	Farnell	2142438	1
DISPLAY	DISPLAY	DISPLAY	DISPLAY 2.2 LCD TFT ILI9341 240x320	SHANGHAI TIANMA MICRO-ELECTRONICS	TM022HDH26	https://es.aliexpress.com/item/32996531464.html?		1
DMP2035U	DMP2035U	SOT-23	DMP2035U-7 MOSFET, P-Channel, 3.6 A, 20 V, 3-Pin, SOT-23	JST	S6B-PH-K-S(LF)(SN)	RS	751-4225	3
IR_RX	IR_RX	CONNECTOR_IR_RX	IR receiver module	JST	S2B-PH-K-S(LF)(SN)	RS	820-1510	1
IR_TX	IR_TX	S2B-PH-K-S	IR emitter	JST	S2B-PH-K-S(LF)(SN)	RS	820-1494	1
LED_EQUIP	LED_EQUIP	S3B-PH-K-S	LED d'equip RGB	JST	S3B-PH-K-S(LF)(SN)	RS	820-1504	1
LED_VIDA_AMMO	LED_VIDA_AMMO	S5B-PH-K-S	LED municiÀ i vida RG	JST	S5B-PH-K-S(LF)(SN)	RS	820-1501	1
LTST-C170TBKT	LTST-C170TBKT	DI0C200X125X110	Green 2 x 1.25 x 1.1 mm 130Å° Water Clear 35 mcd 2 V Surface Mount LED Check prices	Lite-On	LTST-C170TBKT	RS	692-0913	1
NRF2401	NRF2401	NRF2401	Modul de radio SPI NRF2401	Nordic	YJ-13039	https://fe9d75fe64.nxcli.net/product/nrf2401-2-4ghz-wireless-transceiver-module-with-pa-smd/	NRF24L01+ 2.4GHz WIRELESS TRANSCIVER MODULE WITH PA - SMD	1
POWER	POWER	POWER	Power button	KNITTER-SWITCH	MPSA-22E08-0150	RS	913-8895	1
PULSADOR	PULSADOR	S2B-PH-K-S	Pulsador disparar/recarregar	JST	S2B-PH-K-S(LF)(SN)	RS	820-1494	2
1	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	Bourns	CRL1206-FW-1R00ELF	RS	794-4180	2
5	R-US_R0604	R0604	RESISTOR, American symbol	Bourns	CRL1206-FW-1R00ELF	RS	794-4180	1
10	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	TE Connectivity	CRG0402J10R/10	RS	161-4957	3
100	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	Bourns	CR0603-FX-1000ELF	RS	167-4697	2
100K	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	KEMET	C0603C104K5RACTU	RS	801-5347	2
10K	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	Bourns	CR0603-JW-103GLF	RS	740-8892	1
150	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	RS PRO	804-8785	RS	804-8785	1
1k	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	Bourns	CR0603-JW-102GLF	RS	740-8880	7
2.2k	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	RS PRO	804-8861	RS	804-8861	1
220	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	Panasonic	ERJPO8J221V	RS	153-987	1
3.3K	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	RS PRO	804-8877	RS	804-8877	1
3R9	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	Bourns	CRL0603-FW-3R90ELF	RS	794-4092	1
4.7k	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	RS PRO	804-8909	RS	804-8909	5
47	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	Panasonic	ERJPO8J470V	RS	153-860	1
47K	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	RS PRO	804-8987	RS	804-8987	1
68	R-US_R0603	R0603	RESISTOR, American symbol	RS PRO	717-5277	RS	717-5277	8
SLIDE_SWITCH	SLIDE_SWITCH	255SB	SLIDE SWITCH	C&K	OS102011MS2QN1	Mouser	611-OS102011MS2QN1	1
STM32F405RGT6	STM32F405RG	LQFP64	ST Microelectronics STM32F405RG	STMicroelectronics	STM32F405RGT6	RS	746-8217	1
TPS78433QDBVRQ1/OT	TPS78433QDBVRQ1/OT	SOT23-5L	LD3985M33R	STMicroelectronics	LD3985M33R	MOUSER	511-LD3985M33R	1
VIBRATION	VIBRATION	S2B-PH-K-S	PS3 Dualshock vibration motor	JST	S2B-PH-K-S(LF)(SN)	RS	820-1494	1

Figura 60. Taula de materials

10.3. Tones

Pistoles ON

"Tone_PowerOn:d=2,o=5,b=220:g6, p, 8c6, 16c, 8e6, 8g6",

Escollir opció

"Tone_Choose:d=2,o=5,b=220:8c",

OK

"Tone_Set:d=2,o=5,b=220:16d6, 32p, 16d6",

Compte enrere

"Tone_Timecount:d=2,o=5,b=200:16e6",

Tret segons rol

"Tone_Rol1Shoot:d=2,o=3,b=250:16f", //So tret rol 1

"Tone_Rol2Shoot:d=2,o=6,b=250:32f", //So tret rol 2

"Tone_Rol3Shoot:d=2,o=5,b=250:32f", //So tret rol 3

"Tone_Rol4Shoot:d=2,o=4,b=250:16c", //So tret rol 4

Munició recarregada

"Tone_Reloaded:d=2,o=4,b=220: 16f, 16c5",

Alertes

"Tone_GoodAlert:d=2,o=5,b=180: 16f6, 16f6, 16f6", //Alerta bona

"Tone_BadAlert:d=2,o=5,b=180: 16f#,16f#, 16f#", //Alerta dolenta

Mort

"Tone_Death:d=4,o=5,b=190: 16e,16c,p, 16c",

Reapareixer

"Tone_Respawn:d=4,o=5,b=190: 16c, p, 16c, 16e",

Has tocat un jugador rival

"Tone_GoodHit:d=4,o=6,b=190: 16g",

T'ha tocat un jugador rival

"Tone_BadHit:d=4,o=5,b=150: 16c4",

Punt a favor

"Tone_Kill:d=4,o=6,b=190: 16f, 16f, 8f7",

Recuperació de salut

"Tone_HealthUp:d=4,o=7,b=170: 16c,16d,16f", //Vida recuperada

Figura 61. Melodies composades

10.4. PCB

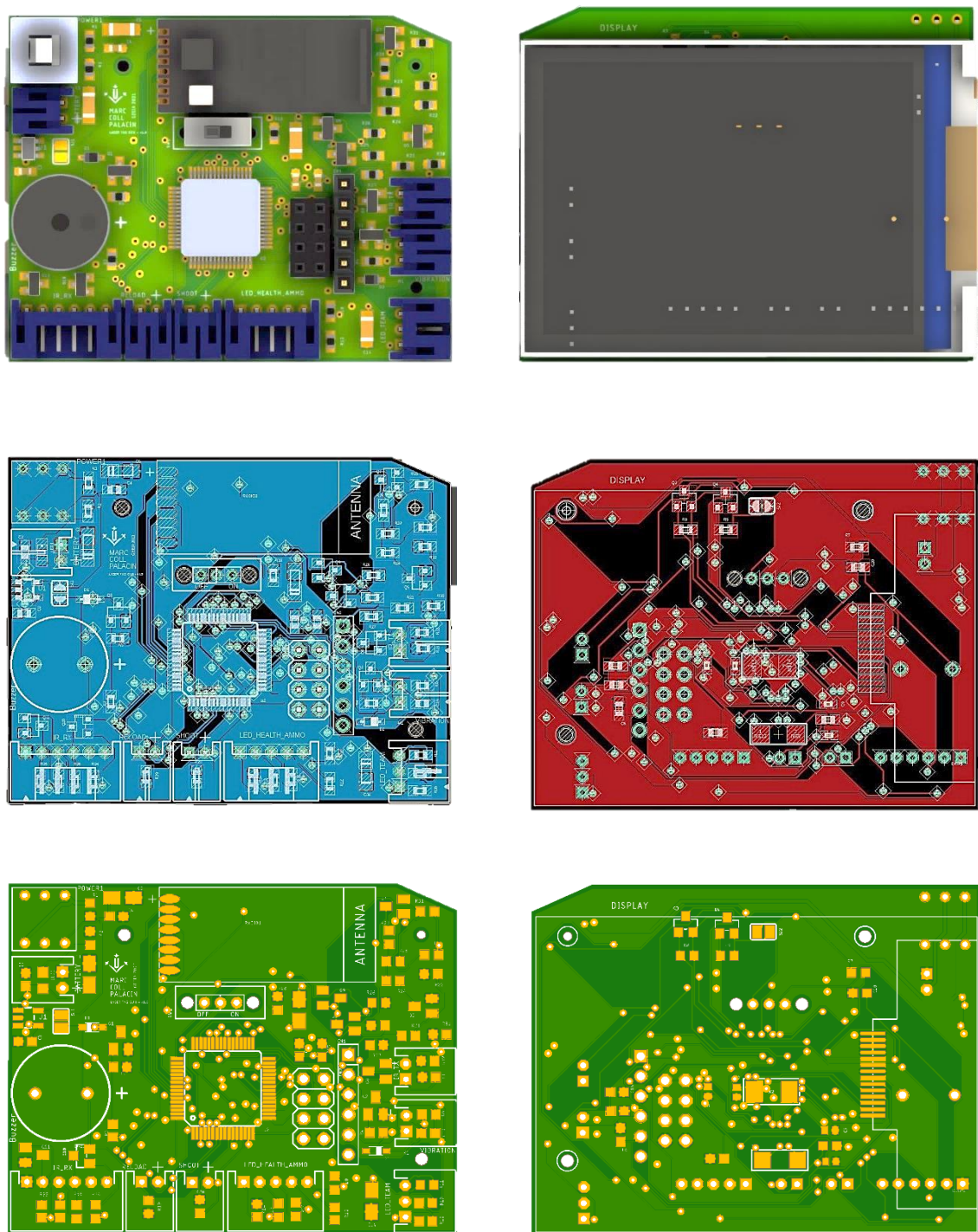
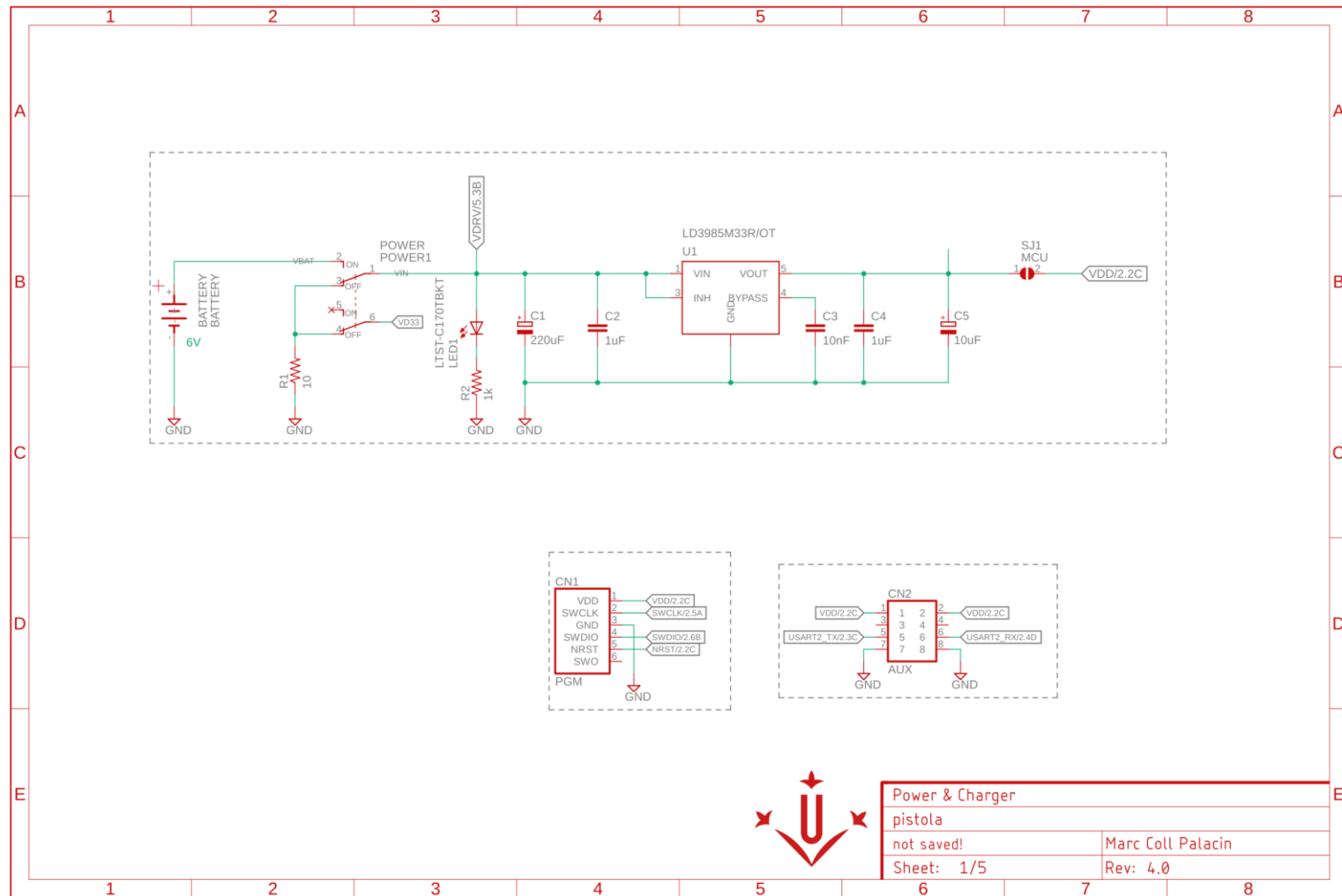


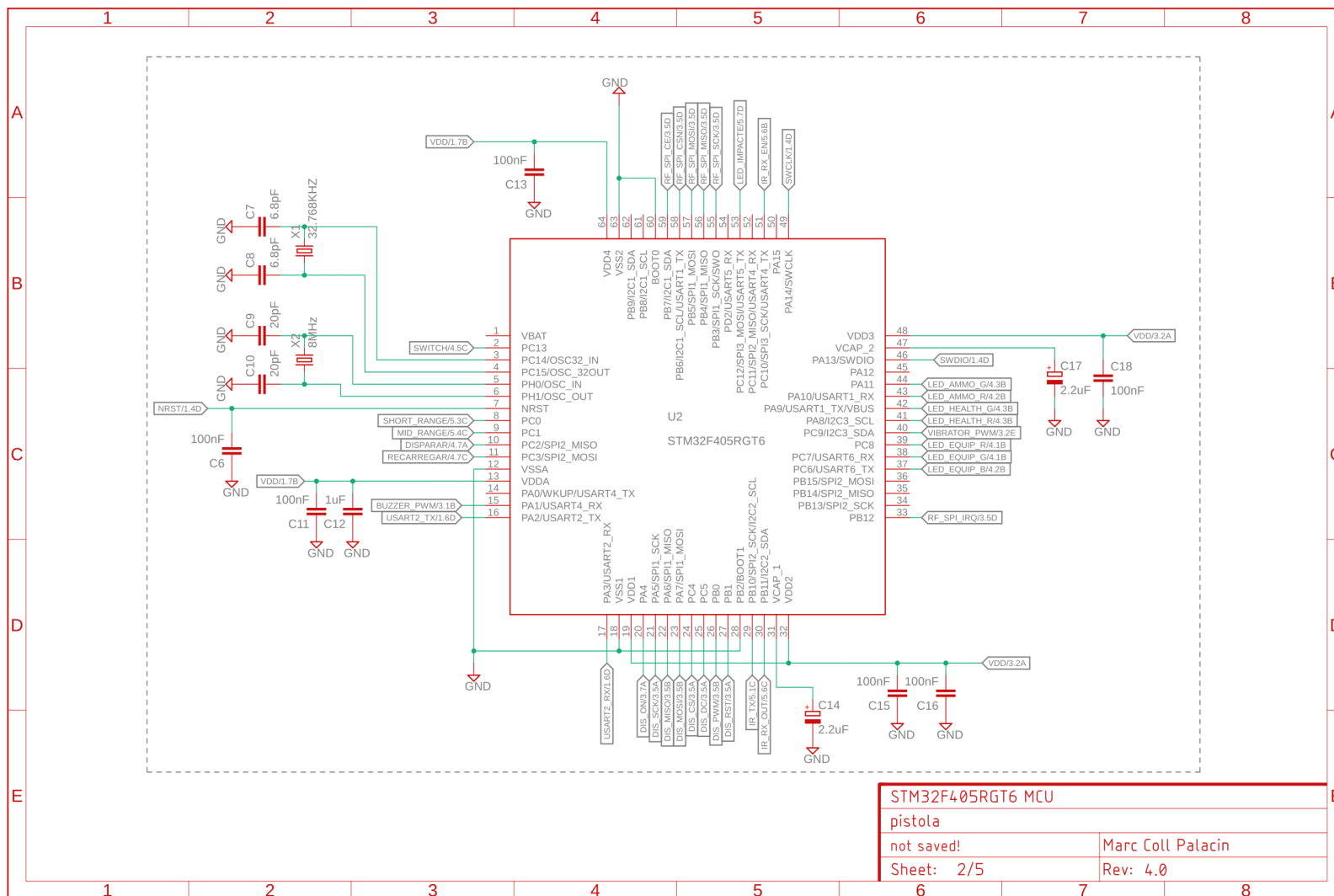
Figura 62. Cares i model 3D de la PCB

10.5. Esquemàtics



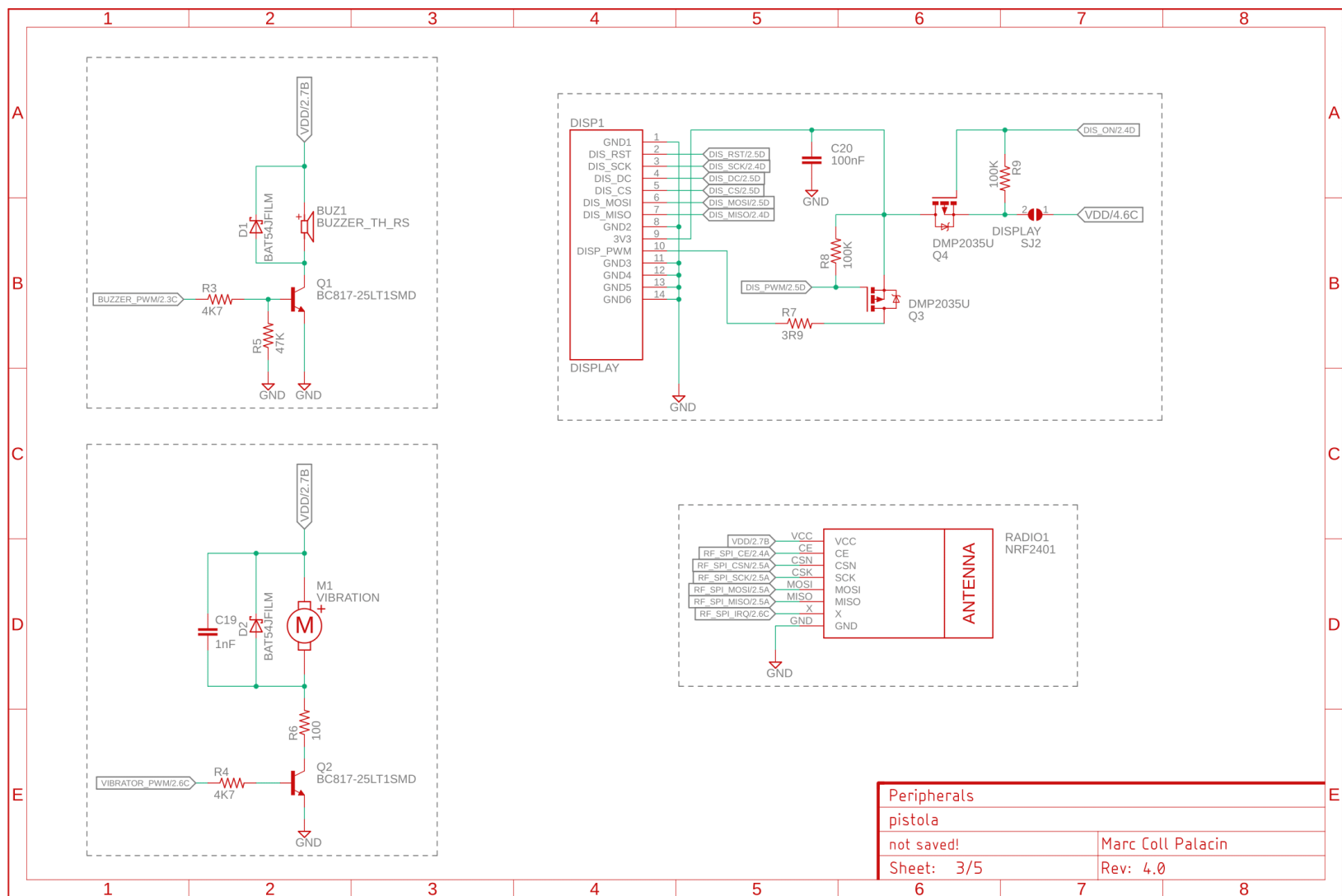
08/07/2021 18:27 C:\Users\Marc\Documents\EAGLE\projects\TFG\pistola.sch (Sheet: 1/5)

Figura 63. Esquemàtic pàgina 1



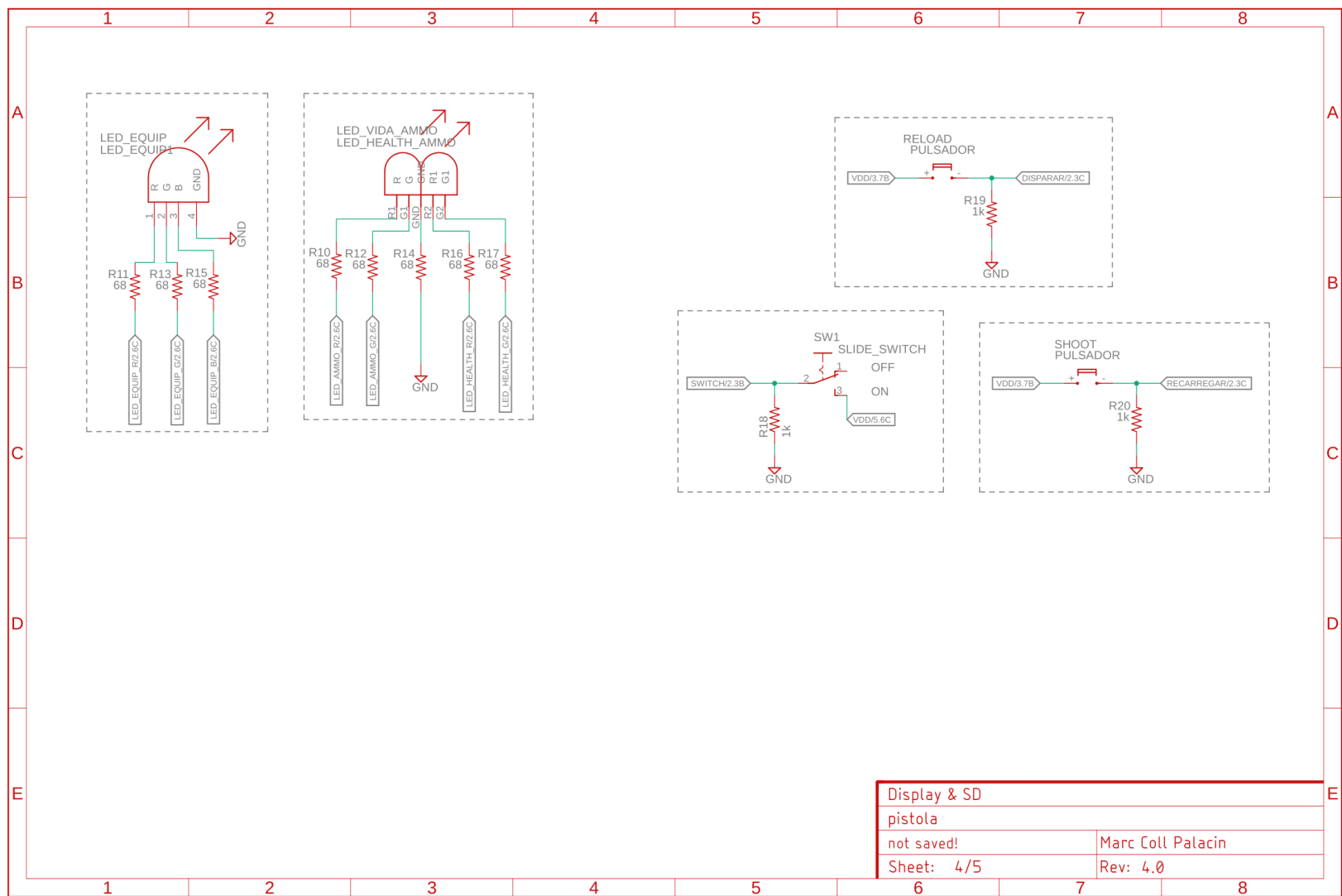
08/07/2021 18:27 C:\Users\Marc\Documents\EAGLE\projects\TFG\pistola.sch (Sheet: 2/5)

Figura 64. Esquemàtic pàgina 2



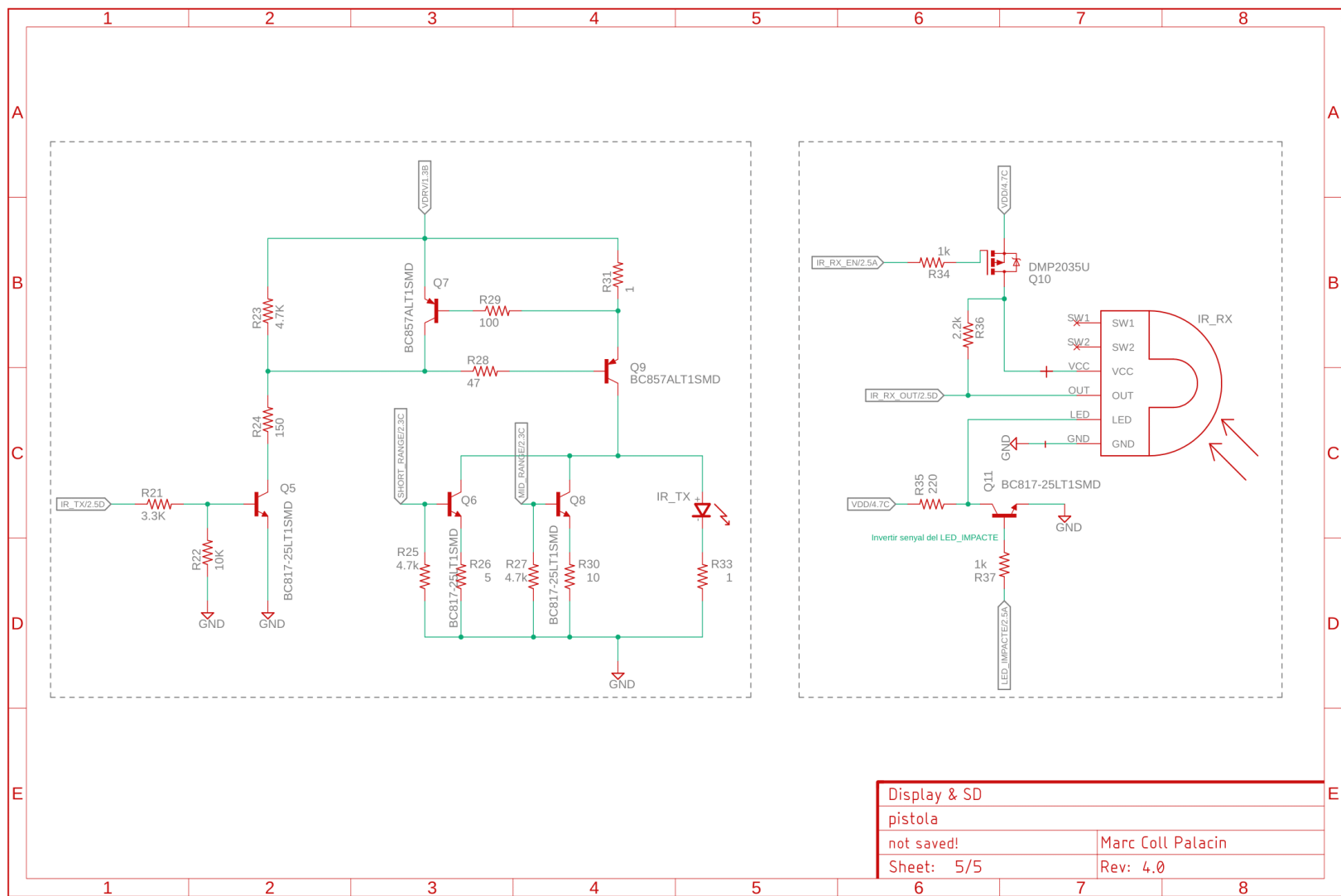
08/07/2021 18:28 C:\Users\Marc\Documents\EAGLE\projects\TFG\pistola.sch (Sheet: 3/5)

Figura 65. Esquemàtic pàgina 3



08/07/2021 18:28 C:\Users\Marc\Documents\EAGLE\projects\TFG\pistola.sch (Sheet: 4/5)

Figura 66. Esquemàtic pàgina 4



08/07/2021 18:28 C:\Users\Marc\Documents\EAGLE\projects\TFG\pistola.sch (Sheet: 5/5)

Figura 67. Esquemàtic pàgina 5

10.6. Marc de protecció

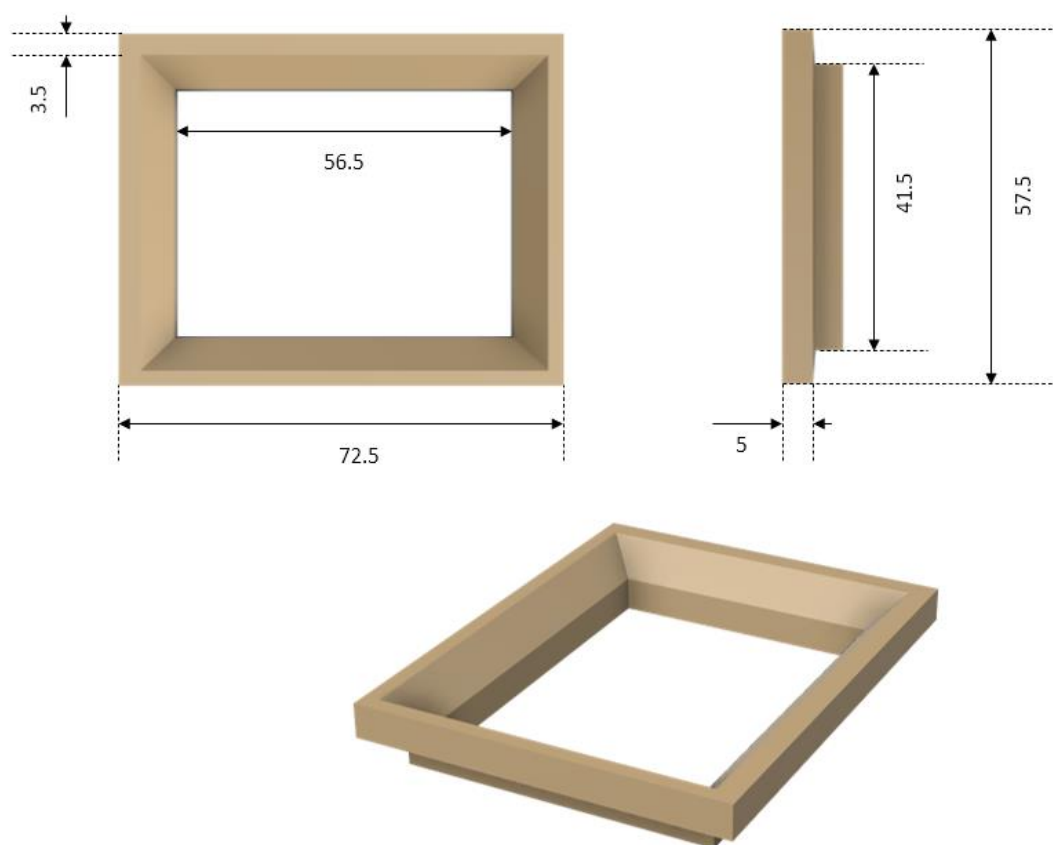


Figura 68. Dimensions marc de protecció 3D

10.7. Variables i funcions firmware

Variables	Tipus	Descripció
abast	int	Intensitat de tret que afecta l'abast al qual arriba. Modifica el corrent del IR TX. N'hi ha 5 del més curt(1) al més llarg(5).
accio	int	Identifica de l'1 al 3 l'acció activa d'un jugador. 0 si no en te cap.
assasi	int	ID del jugador que ha matat a un altre.
baixes_seguides	int	Nombre de baixes consecutives d'un jugador. Es reinicien en morir.
cartutxos	int	Nombre de paquets de munició. Es van reduint.
codi_grup	int	Valor aleatori de tres dígit que encripta els senyals d'un grup de jugadors. Exemple: 345.
colors	array[1, 6]	Conjunt de colors per identificar equips o jugadors. És indiferent al mode de joc. {roig, blau, verd, lila...}.
creador	bool	Sóc el creador de la partida(1), m'estic unint (0).
dades	array[12, 4]	Seguiment de tots els jugadors. Matriu 12x4 que consta de les baixes i morts de cada jugador. [2,1]: número de jugador, [2,2]: color jugador 2,[2,3]: baixes jugador 2, [2,4] morts jugador 2.

dany	int	Vida que treu un tret.
emparellar	bool	Determina si cal emparellar i crear un grup (1) o no (0).
id	int	Identificació de cada jugador que correspon al nom i color d'equip. Ex: 03213: grup 032, equip 1, jugador 3
mode_joc	int	Identifica la modalitat de joc (n'hi ha 6).
mort	int	ID del jugador que ha mort.
municio	int	Nombre de bales per cartutx.
noms	array[1, 12]	Conjunt de noms disponibles per cada jugador. Exemple: {alpha, beta, gamma...}.
objecte	int	Valor aleatori entre l'1 i el 100. Cada objecte per raresa té associat uns números i diferent probabilitat de sortir.
puntuacio	array[2,2]	Seguiment de punts per equip (color). Si la modalitat és individual s'utilitza dades[] per mirar la puntuació en funció de les baixes.
puntuacio_maxima	int	Punts màxims als quals pot arribar un equip i delimiten el final de la partida/ronda.
reapareixer	bool	Indica si es pot (1) o no (0) reaparèixer en funció del mode de joc.
rebut	string	"Cadena de caràcters que es rebi RX RF. Exemple: 14_21: el jugador 4 de l'equip 1 ha matat al jugador 1 de l'equip 2"

rol	int	Identifica el rol escollit pel jugador (n'hi ha 5).
t_cadencia	int	Temps que ha de passar abans de poder disparar després l'últim tret.
t_curacio	int	Temps que ha de passar abans de curar-se automàticament.
t_reapareixer	int	Temps que ha de passar abans de poder reaparèixer després de morir.
t_recarga	int	Temps que ha de passar abans de poder disparar després de recarregar munició.
temps	int	Temps des de 0 (calibrar temps) que marca el temps a tots els jugadors.
temps_maxim	int	Temps màxim que marca el fi d'una partida o ronda en funció del mode de joc.
ultim	int	ID del darrer jugador rival que m'ha disparat.
vida	int	Salut restant de cada jugador.
vida_maxima	int	Salut màxima que pot tenir un jugador.
vida_previa	int	Guarda el valor anterior de salut per comprovar si s'ha perdut.

Figura 69. Variables versió definitiva

Funcions	In	Out	Descripció	Perifèric associat
actualitzar_grups	-	-	Mostra per pantalla els grups disponibles	Display
actualitzar_llista	-	-	Mostra per pantalla els jugadors que s'han rebut de la comanda B_ID. Crea la matriu de dades	Display
actualitzar_marcador	assasi, mort	-	Actualitza els marcadors de puntuació i les estadístiques generals de tots els jugadors	-
actualitzar_municio	1/0	-	Si és un 1, suma un cartutx sencer a la munició i resta un cartutx. Si és un 0 resta un de munició.	-
analitzar_id	id	nom, equip, codi de grup	Separa les dades que formen la ID.	-
analitzar_ir	-	-	Obté el nom, equip i dany del senyal que has rebut. Mira si és una acció.	-
analitzar_rf	-	-	Obté el ID del mort i de l'assassí. Mira si és una acció.	RF RX
aplicar_accio	accio	-	Activa els efectes de l'acció desbloquejada.	-
calibrar_temps	-	-	Activa el timer de cada jugador a la vegada, després de mantenir els botons aprestats durant uns segons.	Clock
countdown	x	-	Compte enrere de x segons abans de començar el joc.	Clock
crear_missatge	assasi, mort, accio	rebut	Genera la string a enviar per RF.	TX RF
crear_partida	-	-	Algoritme de creació d'una partida. Retorna 1 en completar-se.	TX RF
disparar_IR	id, dany	-	Envia la informació del que ha disparat per IR.	IR TX

escollir_mode_joc	-	-	Obté el mode de joc al qual es vol jugar.	Botons de càrrega/selecció o disparar/acceptar
escollir_nom_color	-	-	Obté de l'usuari el nom escollit i el color d'equip que vol tenir.	Botons de càrrega/selecció o disparar/acceptar
escollir_rol	-	-	Obté el rol de cada jugador i l'aplica.	Botons de càrrega/selecció o disparar/acceptar
escoltar_RF	-	rebut	Detecta missatges per RF	RF RX
esperar_mode_joc	-	-	Espera que l'amfitrió esculpeixi un mode.	-
final_partida	-	-	Mostrar els resultats de la partida i algunes estadístiques. Atura el temps i reinicia les variables de joc.	-
generar_codi_grup	-	-	Genera un nombre aleatori de tres xifres.	-
generar_id	codigrup, nom, color	id, dany	Genera l'identificador d'usuari.	-
he_mort	assasi (ultim)	-	Envia qui ha matat a qui.	-
no_municio	-	-	Mostrar avis per pantalla de què no hi ha munició.	-
parlar_RF	rebut	-	Envia un missatge per RF.	RF TX
reapareixer	-	-	Reinicia variables i bloqueja les funcions de l'arma durant uns segons després de morir.	-
rebre_IR	-	id, dany	Es comprova si algú ens ha disparat.	IR RX
restar_salut	salut a restar	-	Pren vida a un jugador.	-
seguiment	1/0	-	Suma una baixa al seguiment personal. Avisa si es pot activar una acció. Amb una entrada 0 es reinicia el comptador.	-

sortejar_objecte	objecte	-	Es comprova aleatòriament si ha tocat un objecte. Si toca, s'aplica.	-
sumar_salut	salut a sumar	-	Puja vida a un jugador.	-
unir_partida	-	-	Algoritme per unir-se a un grup. Retorna 1 en completar-se.	-
motos, llums, buzzer	-	-	Diferents aplicacions segons el perifèric a controlar.	Motos, llums i buzzer

Figura 70. Funcions versió definitiva

Variables	Tipus	Descripció
bluePoints	uint32_t	Punts de l'equip blau.
combo	uint32_t	Número de baixes seguides durant la mateixa vida. En assolir-ne dos o més s'activa l'alerta <i>flame</i>
currentAmmo	uint32_t	Munició actual de l'arma.
currentHealth	uint32_t	Vida actual d'un jugador.
currentPack	uint32_t	Munició de reserva actual. Cada cop que recarreguem l'arma es resta l'equivalent a <i>MaxAmmo</i> .
currentRespawnSec	uint8_t	Temps actual d'espera des de <i>MaxRespawnSec</i> a 0.

currentScreen	Weapon_Screen_TypeDef	Pantalla que es mostra o s'ha de mostrar actualment al display. N'hi ha 3: <i>Main</i> , <i>Config</i> , <i>Dead</i>
currentSec	uint32_t	Segons actuals controlats pel rellotge integrat.
damage	uint32_t	Dany que treu cada tret en tocar a un jugador rival.
fad	uint32_t	Primer dígit de la munició actual d'un jugador (<i>First Ammo Digit</i>) . Es mostra per pantalla.
fhd	uint8_t	Primer dígit de la vida actual d'un jugador (<i>First Health Digit</i>) . Es mostra per pantalla.
healingReductionSec	uint32_t	El temps que es redueix <i>healingSec</i> cada cicle.
healingSec	uint32_t	Temps actual entre curacions. Es va reduint per realitzar una curació exponencial.
healingSecMax	uint32_t	Temps màxim d'espera entre curacions. Serveix per establir el límit.
lowAmmo	uint32_t	Defineix la munició mínima que fa saltar l'alerta per munició baixa.
MaxAmmo	uint32_t	Munició màxima amb el carregador ple.

MaxHealth	uint32_t	Vida màxima d'un jugador, serveix per inicialitzar el comptador i estableix un límit que varia segons el rol escollit.
MaxPack	uint32_t	Munició total de reserva, varia en funció del rol escollit.
MaxRespawnSec	uint8_t	Temps d'espera després de morir i abans de reaparèixer.
myID	-	Identificació de cada dispositiu en funció del color d'equip i número de jugador. Ex. ID = 11 -> Team 1, player 1
myTeam	-	Color d'equip. Ex. Red = 1
rateSec	uint32_t	Temps d'espera entre cada tret (cadència) que varia segons l'arma escollida.
redPoints	uint32_t	Punts de l'equip vermell.
reloadSec	uint32_t	Espai de temps durant el qual estem recarregant la munició i no es pot disparar.
rol	Rols_TypeDef	Indica un dels quatre rols disponibles al qual van associats unes característiques i una arma. Ex. rol 1 : Escopeta
sad	uint32_t	Segon dígit de la munició actual d'un jugador (<i>Second Ammo Digit</i>) . Es mostra per pantalla.
shd	uint8_t	Segon dígit de la vida actual d'un jugador (<i>Second Health Digit</i>) . Es mostra per pantalla.

shootedByld	uint8_t	ID del darrer jugador que ha disparat i tocat a un jugador rival.
vibrationLevel	uint32_t	Nivell de vibració del motor.

Figura 71. Variables firmware actual

Funcions	In	Out	Descripció	Perifèric associat
alerts	alert, estat	-	Activa o desactiva (estat) una alerta i la seva respectiva representació per pantalla. Pot ser per munició escassa o 0, baixa salut o bona ratxa.	-
analyzeID	ID	team, player	Donada una identificació, s'extreu l'equip i número de jugador associat.	-
blinkCompas	-	1/0	Retorna de forma alternada un u o un zero cada segon que passa. Serveix per fer parpellejar diferents elements visuals.	Clock
checkAmmo	-	-	Comprova la munició actual i avisa quan se supera el límit establert de mínima munició.	-
checkCombo	-	-	Comprova si un jugador porta més de dues baixes encadenades i mostra la notificació.	-
checkHealth	-	-	Comprova la salut actual i avisa quan es redueix per sota dels 20 punts. Comprova també si un jugador a mort o no.	-
getIR	-	-	Rep els senyals infrarojos i interpreta la seva validesa. En cas positiu, es redueix la vida del receptor.	IR RX
getRF	-	-	Obté i analitza els senyals de ràdio provinents de la resta de jugadors.	RF RX

killed	-	-	Envia al jugador a la pantalla de mort i reinicia les variables de rol. Si se n'ha escollit un durant la partida, és ara quan el canvi de rol es fa efectiu.	-
LEDPWM	LED, r, g, b	-	Utilitza els canals de PWM per encendre els LEDs del dispositiu. S'escull el LED (equip, vida o munició) i s'estableix el percentatge de cada color.	LEDs
parlar	message		Envia per RF un missatge que s'interpretarà posteriorment	RF TX
PushButtonCheck	-	button	Retorna el botó que està pres. Pot ser disparar (1), recarregar (2) o ambdós (3).	Botons de càrrega/selecció o disparar/acceptar
RangeSet	range	-	Estableix el rang de tir d'un rol en concret. Hi ha tres opcions: rang curt, mig i de llarg abast.	Integrated transistors
reload	-	-	Recarrega la munició actual si es possible podent passar tres situacions: - Recàrrega normal - Última recàrrega	Botó de recàrrega/selecció
reloading	-	1/0	Retorna un 1 lògic si el dispositiu està en procés de recàrrega i per tant, no pot disparar.	-
resetTime	-	-	Reinicia a zero el temps del rellotge, serveix per sincronitzar el marcador de tots els jugadors.	Clock
setRol	Rols_TypeDef	-	Donat un rol s'inicien totes les variables associades a aquest.	Botó de disparar/acceptar
shoot	damage	-	Envia els senyals infrarojos corresponents segons el teu ID i el mal (damage) associat al rol.	IR TX
sincPlayer	myTeam	-	Bloqueja el programa fins que es rep feedback dels altres jugadors. Mentre un envia, l'altre escolta i seguidament es procedeix a la inversa.	RF Module
SlideSwitchCheck	-	position	Retorna la posició del <i>slide switch</i> per activar el mode d'estalvi energètic (pos 1) o desactivar-lo.	Slide Switch
spinRol	-	-	Modifica la pantalla de configuració per rotar la roda de selecció durant la partida.	Botó de recàrrega/selecció

Tone_PlayRTTTL	melody	-	Reproduceix una melodia preestablerta. S'aprofita en ocasions variades com durant les alertes o després de rebre un tret.	Buzzer
VibrationMotor_SetLevel	vibrationLevel	-	Fa vibra el motor a la intensitat escollida del 0 al 100 (<i>vibrationLevel</i>) .	Vibration motor
Weapon_GUI_Task	-	-	Executa a màxima velocitat totes les tasques del <i>firmware</i> .	Display
Weapon_GUI_Update	-	-	Actualitza la UI dinàmica de la pantalla actual. Hi ha tres pantalles: la principal (Main), la selecció de rols (Config) i la pantalla de mort.	Display

Figura 72. Funcions firmware actual

10.8. Prototip amb Discovery

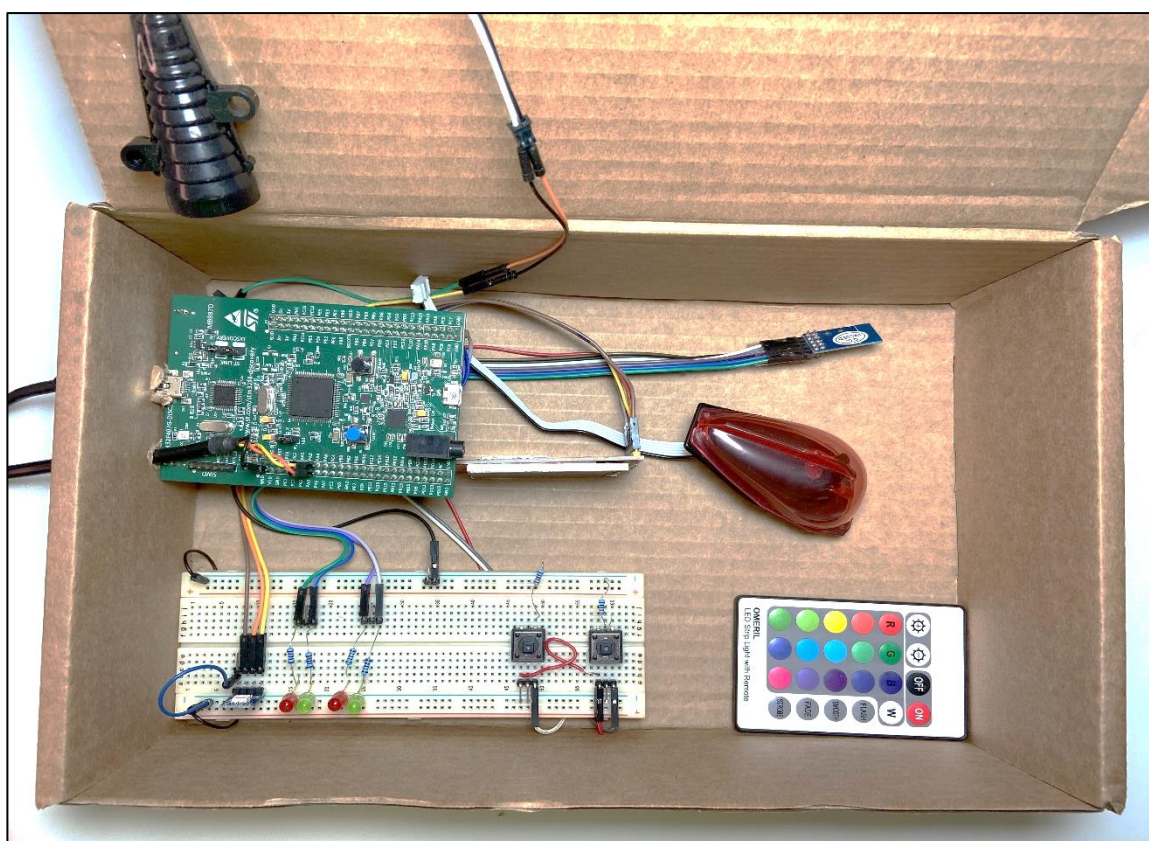
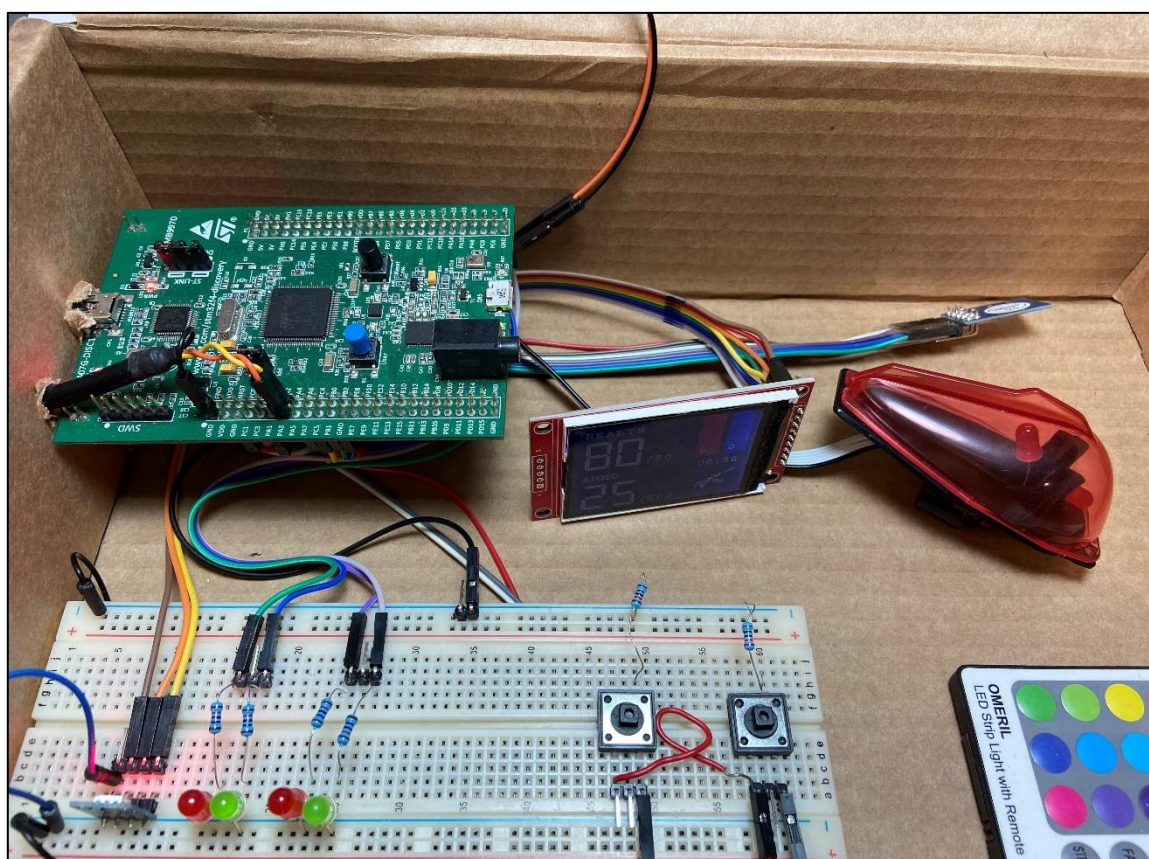


Figura 73. Prototip amb placa Discovery

10.9. Prototip amb Arduino

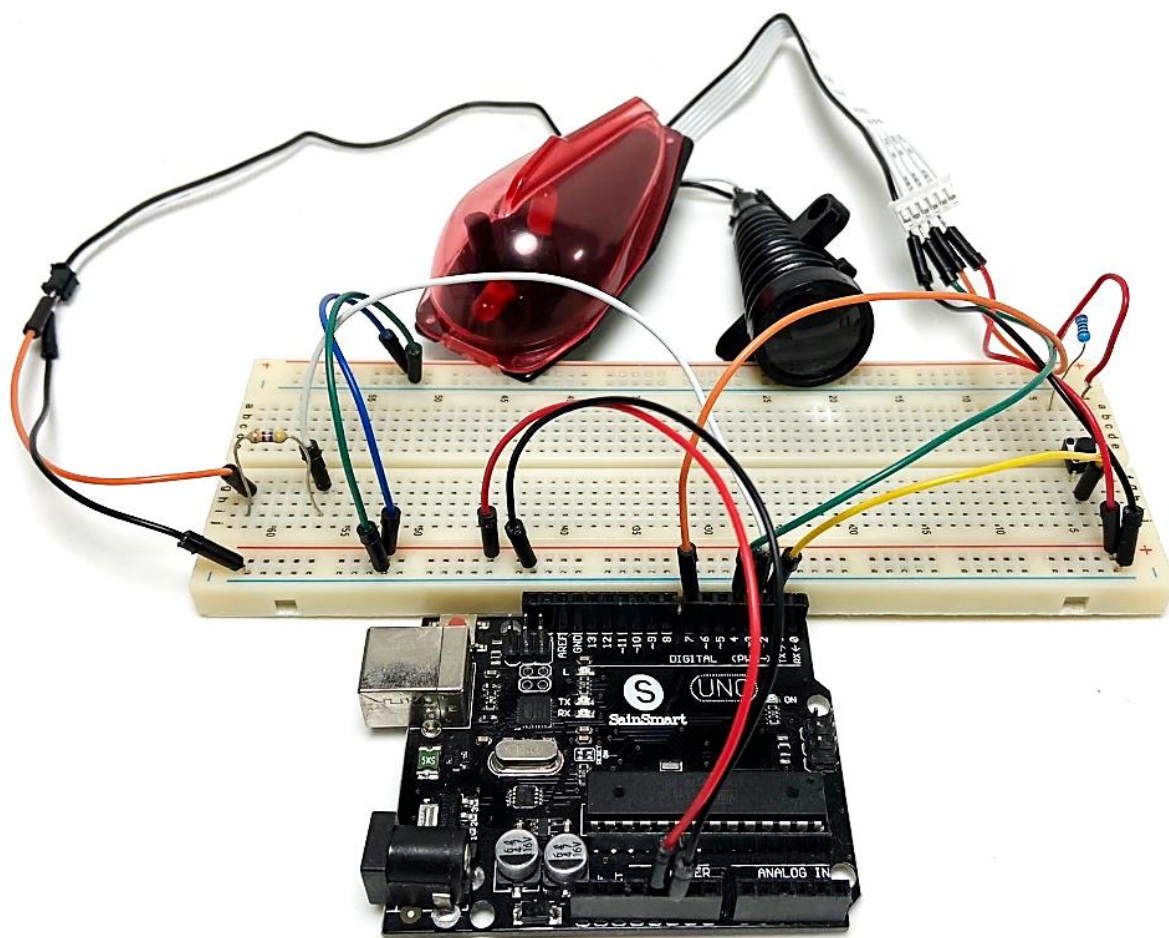


Figura 74. Primer prototip amb placa Arduino

10.10. Model final



Figura 75. Captures del dispositiu final

10.11. Esquemàtics originals

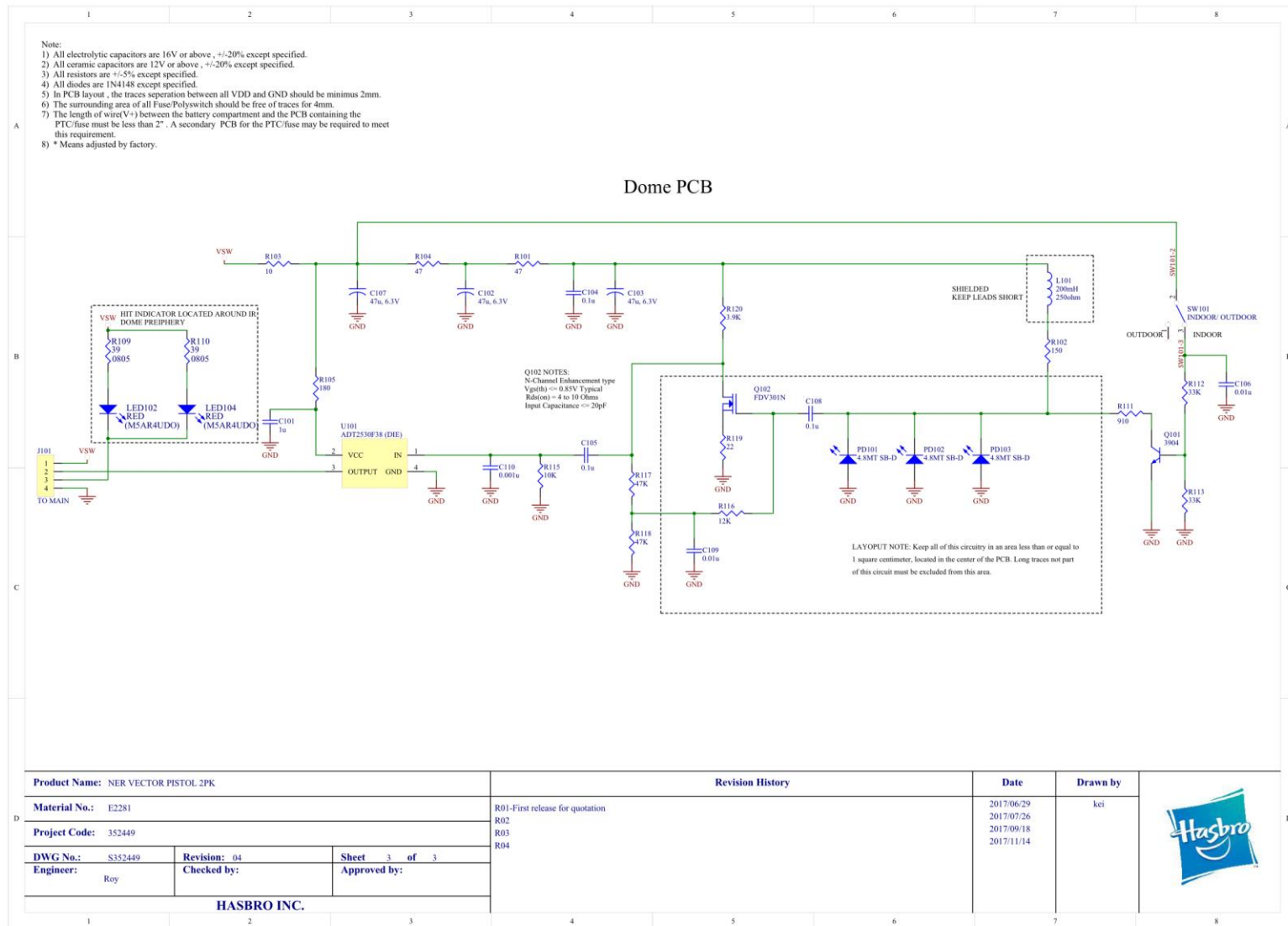


Figura 76. Esquemàtic original NERF pàgina 1

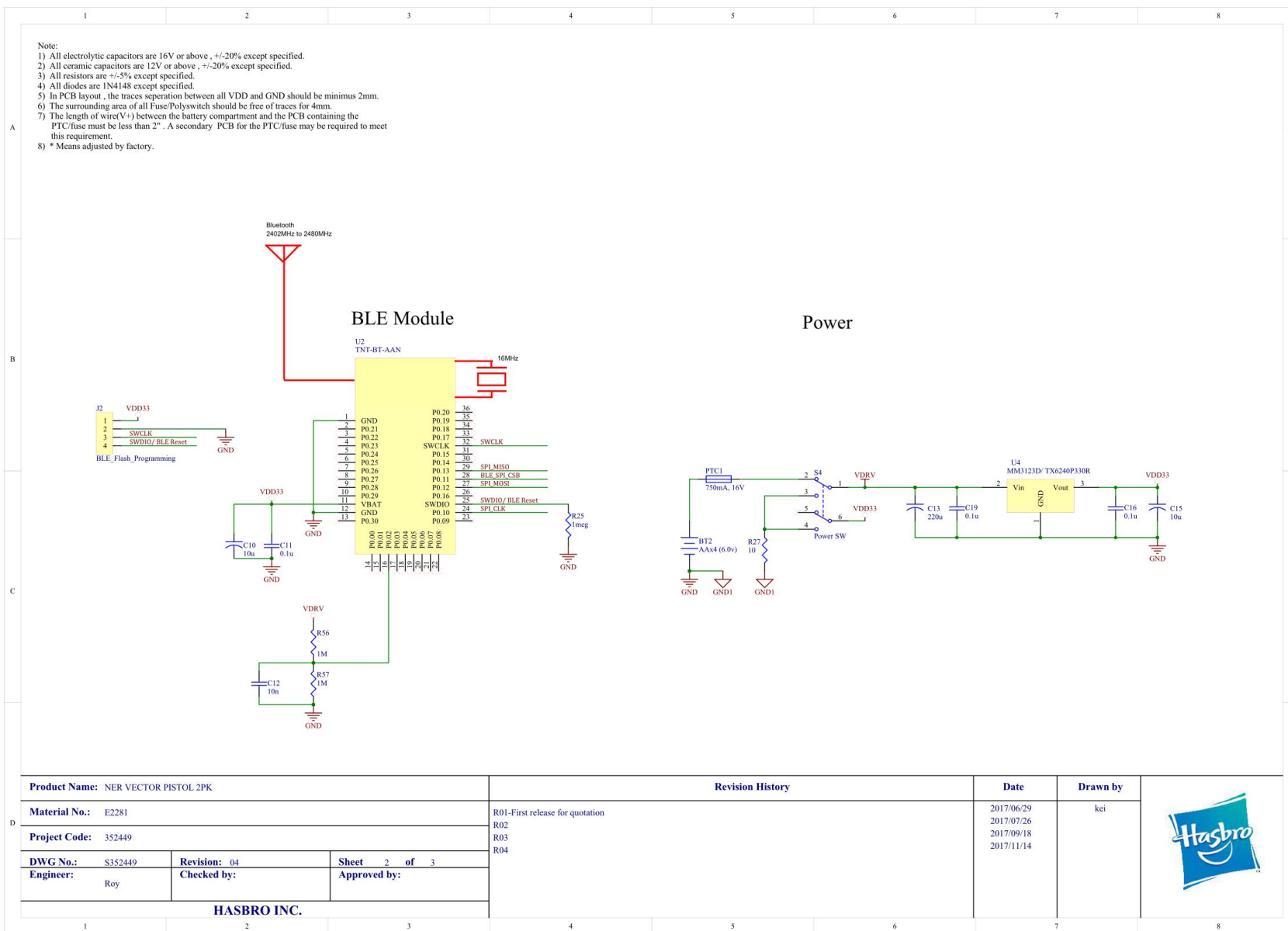


Figura 77. Esquemàtic original NERF pàgina 2

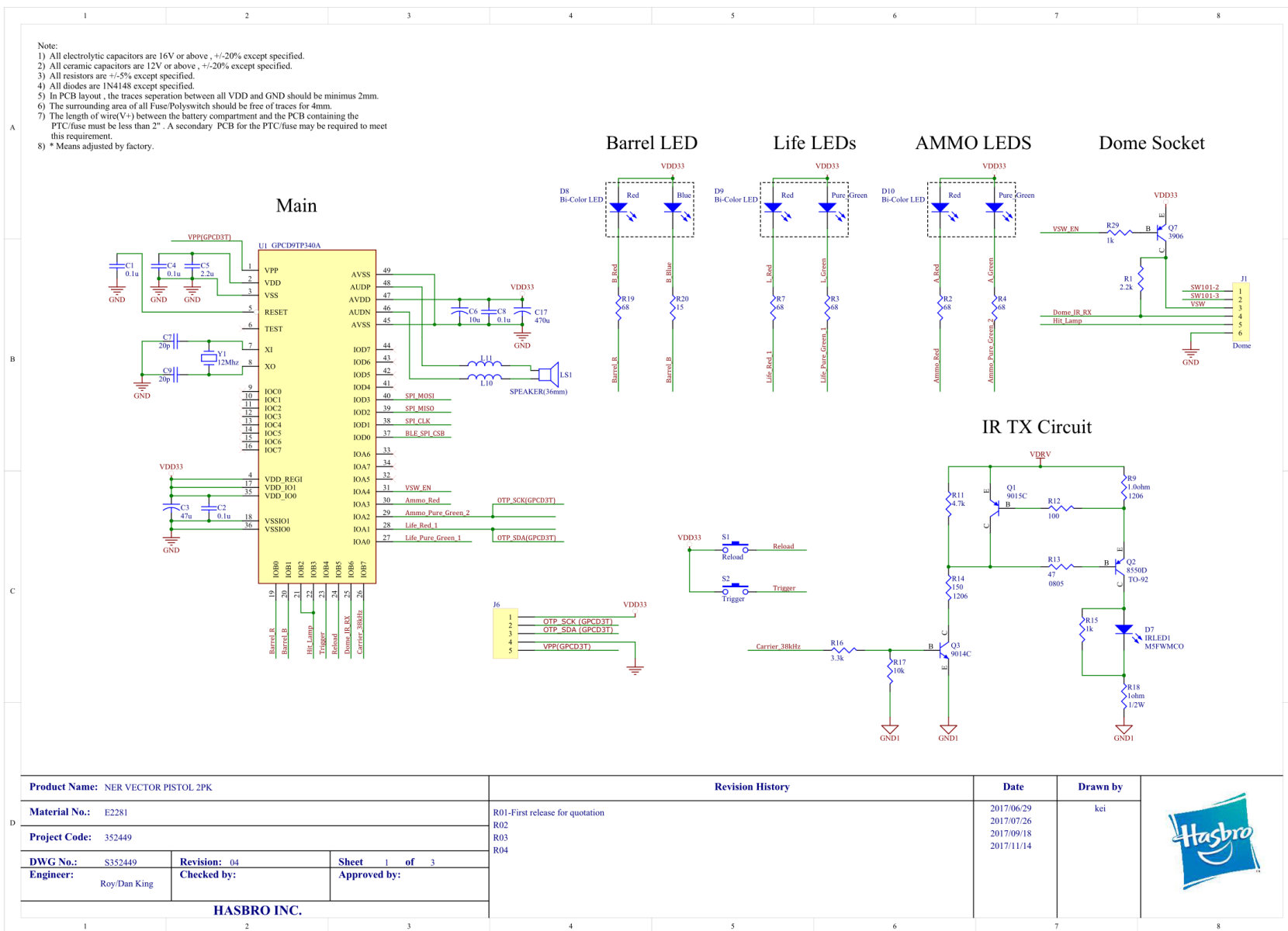


Figura 78. Esquemàtic original NERF pàgina 3

